



PFR ENVIRONMENTAL, S.A.
LABORATORIO DE ANÁLISIS
AMBIENTALES

Minera  Panamá

PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA) CATEGORÍA III

INFORME DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE EFECTOS AMBIENTALES: ECOSISTEMA MARINO COSTERO

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13107 13217 13234	Abril 2023	PFR ENVIRONMENTAL, SA	05-08-2023



ÍNDICE

1.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	2
2.	<u>OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA</u>	4
3.	<u>METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS</u>	5
3.1.	Sitios de muestreo y actividades realizadas	5
3.2.	Metodología para el estudio de la calidad del agua marina	8
3.3.	Metodología para el estudio de metales pesados en sedimentos y biota	8
3.4.	Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades de fondos duros)	9
3.5.	Monitoreo de biología marina (comunidades de fondos blandos y peces)	11
3.6.	Monitoreo de rompeolas	12
4.	<u>RESULTADOS MARINO-COSTEROS</u>	15
4.1.	Calidad de aguas	15
4.2.	Calidad de sedimentos	18
4.3.	Análisis de metales pesados en pez león	20
4.4.	Hábitats de fondos duros	21
4.5.	Hábitats de fondos blandos	32
4.6.	Estudio de la comunidad de peces	39
5.	<u>RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS</u>	49
5.1.	Estudio de fondos duros	49
5.2.	Estudio de la comunidad de peces	51
6.	<u>RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE</u>	54
7.	<u>ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES</u>	57
8.	<u>ESTADO ECOLÓGICO</u>	61
8.1.	Justificación	61
8.2.	Metodología	61
8.3.	Resultados. Valoración del estado ecológico marino-costero	65
9.	<u>CONCLUSIONES</u>	68
10.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	72

ANEXO 1. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DEL SEDIMENTO



1. INTRODUCCIÓN

Minera Panamá S.A. está desarrollando el proyecto Mina de Cobre Panamá en el distrito de Donoso, provincia de Colón, situado en el sector central-norte de Panamá. El Proyecto excava y procesa mineral de sulfuro de cobre que ha sido definido en una concesión de 13.000 hectáreas que está ubicada a 120 km al oeste de la Ciudad de Panamá y a 20 km de la costa del mar del Caribe. El proyecto incluye, además, instalaciones portuarias en Punta Rincón, que permiten la carga de concentrado y la descarga de carbón asociado con el funcionamiento de la termoeléctrica de 300 MW.



Plano 1. Ubicación del proyecto de Minera Panamá

Estas actividades tienen el potencial de impactar los aspectos biológicos y físico-químicos del medio ambiente acuático marino-costero y, por lo tanto, se necesita un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de las medidas de control y mitigación.

En el presente Informe se describen la metodología y resultados obtenidos en el segundo monitoreo de los ecosistemas marino-costeros frente al puerto de la mina en Punta Rincón completado los días 24 al 28 de abril de 2023, como parte del Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costeros.



Los capítulos principales que contiene el informe son los siguientes:

- Metodología de los trabajos, con una descripción detallada de las metodologías seguidas en los muestreos y análisis físico-químicos –en agua y sedimentos-, biológicos (muestreos de bentos en fondos duros y blandos y estudio de peces) y análisis de metales pesados en agua, sedimento y biota (peces).
- Resultados obtenidos para cada elemento ambiental estudiado, con especial referencia a los indicadores ambientales y su estado de calidad, ya que son los que permitirán seguir la evolución y la tendencia de la calidad y estado ecológico a lo largo del período de actividad de la mina.
- Un análisis de tendencias de los indicadores ambientales, teniendo en cuenta los estudios completados en los últimos monitoreos.



Monitoreos marino-costeros en Punta Rincón durante el mes de abril de 2023.



2. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costero, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para el ecosistema marino-costero (calidad de agua, sedimentos, fondo duro y biología marina), mantengan medidas de mitigación que sean efectivas para la protección y viabilidad de estos ecosistemas en la zona de influencia directa del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

Como objetivos específicos se destacan:

- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de la calidad de los sedimentos.
- Asegurar que los procedimientos de manejo son efectivos para limitar los cambios en los sedimentos producto de la sedimentación y otros impactos (por ejemplo, derrames de carbón y concentrado).
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de los impactos sobre el componente biológico durante la construcción y operación del puerto.
- Monitorear las condiciones estuarinas para evaluar los impactos de la construcción de la mina (por ejemplo, calidad sedimentos y características físicas).
- Evaluación de la efectividad de los controles ambientales durante las operaciones, específicamente alrededor de la desembocadura de las aguas de refrigeración de la planta de energía y alrededor de las instalaciones portuarias, a través del monitoreo de las condiciones químicas, biológicas y físicas.
- Monitoreo y acciones correctivas para evitar mortalidad de la fauna.
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de hábitat crítico, especialmente el sustrato del hábitat de fondo duro, dentro y alrededor de la huella del proyecto.
- Evaluar si los mecanismos de control establecidos (por ejemplo, el control de sedimentos y operaciones portuarias) son efectivos para la protección del hábitat de fondo duro cercano a las operaciones.
- Apoyar la actualización de los inventarios biológicos dentro del área del proyecto especificados por los compromisos del EsIA (deben actualizarse cada 5 años).

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en el Plan de Monitoreo Ambiental, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo y su grado de afectación por las actividades en el puerto de la mina.

De forma adicional, durante este monitoreo se ha planteado como objetivo colateral –iniciado en el año 2015 con la línea base– la valoración del estado ecológico del medio marino-costero, teniendo en cuenta diferentes indicadores de la calidad biológica y físico-química de aguas y sedimentos marinos.



3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

3.1. Sitios de muestreo y actividades realizadas

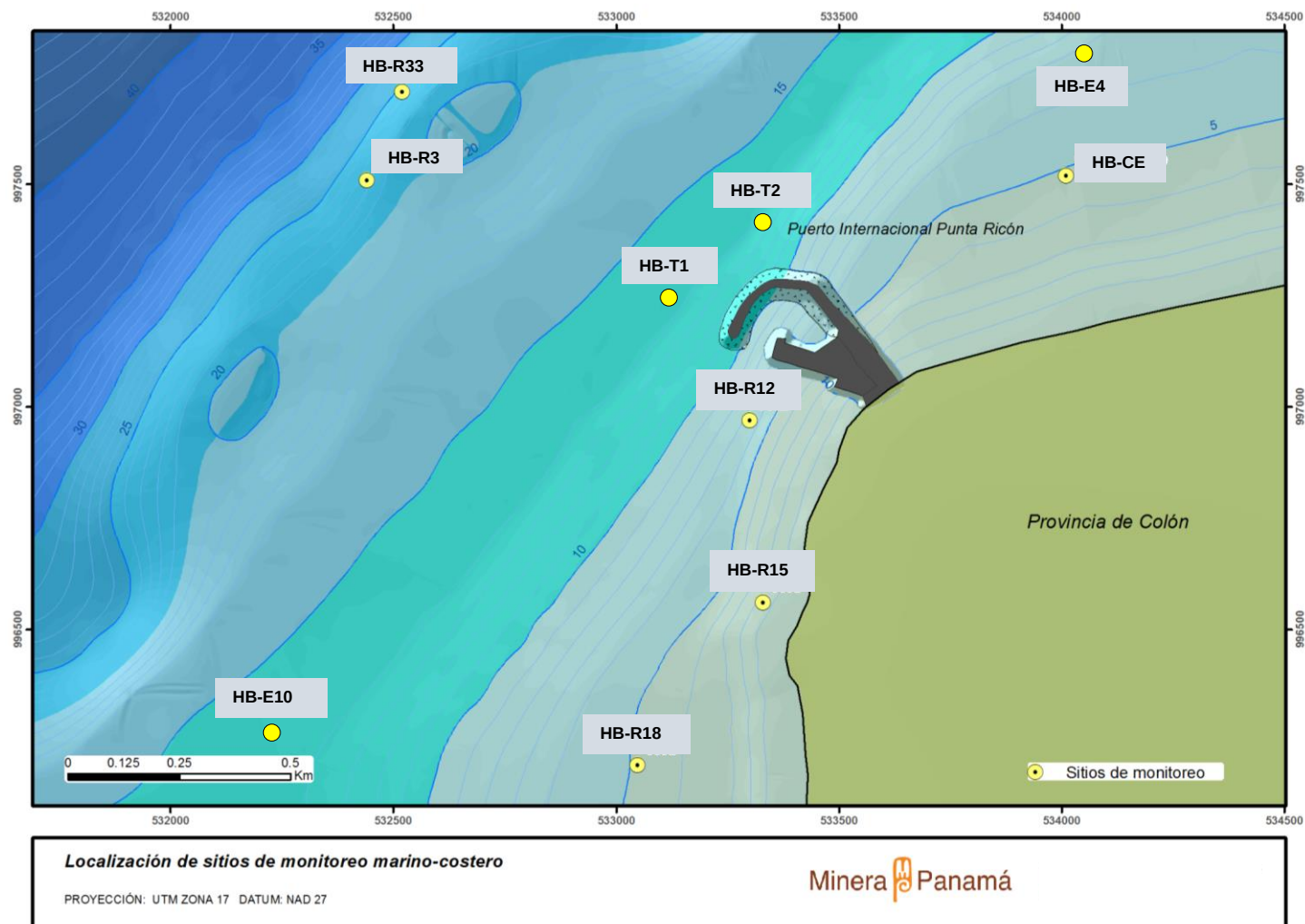
Durante los días 24 al 28 de Abril de 2023 se realizaron los monitoreos en los siguientes diez (10) sitios de monitoreo (ver **Cuadro 1**).

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO				
CÓDIGO SITIO DE MONITOREO	TIPO DE PUNTO	TIPO DE FONDO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
			ESTE	NORTE
HB-R3	PML	Fondo duro-blando profundo	532441	997509
HB-R33	PML	Fondo duro-blando profundo	532520	997707
HB-CE	PMC	Fondo blando somero en Caimito Este	534011	997519
HB-R12	PMC	Fondo duro-blando somero	533301	996970
HB-R15	REF	Fondo duro-blando somero	533331	996560
HB-R18	REF	Fondo duro-blando somero	533049	996196
HB-T1	Control para terminal	Fondo blando	533227	997336
HB-T2	Control para terminal	Fondo blando	533383	997571
HB-E4	Nuevo control	Fondo blando	534871	997981
HB-E10	Nuevo control	Fondo blando	532295	995729

PML: Punto de Monitoreo Lejano; PMC: Punto de Monitoreo Cercano; REF: Punto de Referencia. El término “Punto de Monitoreo Cercano o PMC” se refiere a las ubicaciones de muestreo que están lo más cerca posible a las operaciones, pero fuera de cualquier zona inicial mixta; la zona inicial mixta es el área donde las descargas provenientes del sitio (por ejemplo, las descargas de agua de refrigeración de la planta de energía) se mezclan por completo con el ambiente marino receptor. Los “Puntos de Monitoreo Lejano o PML” se deben ubicar en lugares que se crean que definen el espacio de cualquier efecto potencial observado en el PMC. Los “Puntos de Monitoreo de Referencia o REF”, deben estar cerca del área, pero fuera de cualquier cambio potencial debido a las operaciones del Proyecto.

En el **Plano 2** se muestran las ubicaciones de los sitios de muestreo utilizados. Para su ubicación, se ha generado un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la información cartográfica y batimétrica disponible, sobre el que se ha georeferenciado cada sitio de muestreo con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en soporte ARCGIS en su última versión.

Con fecha de 4 de mayo de 2023, y una vez completada la campaña de monitoreo, se envió un informe previo con los resultados preliminares obtenidos en el monitoreo (a falta obviamente de los análisis en laboratorio, tanto de muestras de agua, sedimentos y biota), con un diagnóstico previo y la identificación de posibles problemas ambientales con el fin de tomar las medidas oportunas de una forma rápida y eficaz. De este informe, se destaca que no se identificaron incidencias ambientales en el medio marino-costero que necesitaran tomar medidas de protección adicionales a las que se vienen aplicando.



Plano 2. Localización de los sitios de monitoreo para el estudio marino-costero.



De forma particular, en cada sitio de monitoreo las actividades desarrolladas se resumen en el **Cuadro 2**.

CUADRO 2. ACTIVIDADES REALIZADAS EN CADA SITIO DE MONITOREO				
CÓDIGO SITIO	CALIDAD DE AGUAS, SEDIMENTOS Y BIOTA	ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS DUROS	ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS BLANDOS	ESTUDIO DE PECES
HB-R3	SI	SI	SI	SI
HB-R33	SI	SI	SI	SI
HB-CE	SI (excepto peces)	NO	SI	NO
HB-R12	SI	SI	SI	SI
HB-R15	SI	SI	SI	SI
HB-R18	SI	SI	SI	SI
HB-T1	SI	SI	SI	SI
HB-T2	SI	SI	SI	SI
HB-E4	SI	NO	NO	NO
HB-E10	SI	NO	NO	NO

El estudio de la calidad del agua incluyó mediciones de parámetros físico-químicos en toda la columna de agua y toma de muestras de agua marina a -1 m para la realización de diferentes parámetros (físicos, nutrientes, metales pesados, etc). En las muestras de sedimentos se analizó su granulometría y diferentes parámetros químicos (COT, metales pesados) y en la biota (mediante capturas directas de pez león) el contenido de metales pesados.

Para el estudio de las comunidades de fondos duros se emplearon buceadores profesionales (equipados con cámaras fotográficas y de vídeo submarino), que en diferentes transectos lineales establecidos en cada sitio -y sobre la base de datos tomados con cuadrantes- se determinó, entre otros, la cobertura de corales y otros organismos. Por su parte, para el estudio de los fondos blandos, se tomaron muestras de sedimento con buceadores y dragas y se completó el estudio del bentos marino. El estudio de peces se realizó con apoyo de buceadores profesionales y siguiendo el método del transecto en cada sitio de muestreo.

El conjunto de los muestreos fue llevado a cabo por un equipo de cuatro técnicos cualificados, más el patrón del bote, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos (con títulos de buceadores profesionales) el muestreo de elementos biológicos submarinos y los otros dos la caracterización de calidad de aguas y muestreos de sedimentos. Se contó con un paramédico y buceador de apoyo en todos los muestreos realizados.

En todo momento se tuvo el inestimable apoyo y medios (personal, instalaciones, embarcación, etc) de MINERA PANAMÁ y, en especial a la Licda. Blanca Arauz, a la que se traslada todo el agradecimiento y consideración por las facilidades prestadas durante el monitoreo.



3.2. Metodología para el estudio de la calidad del agua marina

Durante la realización de la campaña, se llevaron a cabo medidas con equipos y sondas multiparamétricas de los siguientes parámetros físico-químicos de calidad de agua marina:

- Temperatura del agua (°C)
- pH (en unidades pH)
- Oxígeno disuelto (mg/L y % saturación)
- Sólidos totales disueltos, STD (g/L)
- Turbidez (NTU)
- Salinidad (ppt)

Asimismo, en cada sitio de muestreo se tomaron por muestras de agua marina con una botella Van Dorn a -1 m de profundidad que fueron entregadas al personal de MINERA PANAMÁ para analizar los siguientes parámetros físico-químicos en el laboratorio acreditado en la Norma UNE-EN-ISO 17025 contratado de forma externa por MINERA PANAMÁ:

- Físicos: total de sólidos disueltos (STD) y total de sólidos en suspensión (TSS)
- Biológicos: DBO₅, COD
- Nutrientes: nitrato, nitrito, amoníaco, total de nitrógeno y fósforo
- Iones comunes: SO₄, Cl, Mg, Ca, K, Na, F
- Orgánicos: aceites y grasas
- Cianuro: total y metales totales: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn.

3.3. Metodología para el estudio de metales pesados en sedimentos y biota

Igualmente, se tomaron muestras de sedimento con buceadores en los sitios de muestreo indicados en el **Cuadro 1**, para el análisis de los siguientes parámetros: composición granulométrica, carbono orgánico total (COT), hidrocarburos, aceites y grasas y metales: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn en laboratorio externo contratado por MINERA PANAMÁ.

Las muestras de sedimentos se recogieron con una pala de teflón por los propios buceadores o con una draga tipo Eckman en el sitio HB-CE. Las muestras recogidas se conservaron en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificados y almacenadas en neveras refrigeradas hasta su entrega al personal de MINERA PANAMÁ al llegar a puerto.

Asimismo, con el fin de evaluar si las operaciones están desplazando metales se ha llevado a cabo el muestreo por personal de PFR ENVIRONMENTAL, SA de pez león (*Pterois antennata*)¹, a partir de las capturas de ejemplares con rifle-arpón recubierto de teflón.

Las muestras de pez león se lavaron previamente con agua desionizada. En los peces, se extrajeron los tejidos musculares por encima de la línea lateral y a nivel del inicio de la aleta

¹ Se ha utilizado ejemplares de pez león, ya que se encuentra en niveles tróficos elevados con una dieta carnívora (peces, camarones y otros crustáceos, etc), presenta una amplia distribución en la zona y con su captura se ha contribuido a mermar sus poblaciones invasoras en el área, sin dañar a otras especies.



dorsal del pez completo, utilizando un cuchillo limpio de teflón. Con los tejidos extraídos se formaron un pool de 3 organismos para cada uno de los peces. Los cortes se introdujeron en bolsas de polietileno y se congelaron a -20°C hasta su entrega a personal de MINERA PANAMÁ al llegar a puerto para su envío al laboratorio externo.



Ejemplares de pez león recolectados y toma de muestras de tejidos para la realización de los análisis.

3.4. Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades de fondos duros)

Dentro de las métricas a analizar en los hábitats de fondos rocosos-duros se incluyen:

- Porcentaje de cobertura de los organismos vivos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el sustrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Uso observado del sustrato por parte de los peces y otros organismos móviles.

En cada sitio de monitoreo somero y profundo definido anteriormente, se estableció un transecto lineal fijo paralelo a la costa, excepto en HB-R3 y HB-R33 que fueron perpendiculares a la costa. Para delimitar dicho transecto, se utilizaron en el año 2015 varillas de hierro, las cuales fueron enterradas al inicio y fin de cada transecto, como marca permanente para éste y los futuros eventos de monitoreo en estos puntos. Durante estos años, se ha tenido que ir reponiendo estas varillas, debido al efecto del desgaste y el oleaje. Asimismo, se localizaban estas varillas y una vez identificado y establecido el transecto, se ha cuantificado cada 5 m mediante una cuadrata de 1 m^2 sujeto por una base, el porcentaje de cobertura (por m^2) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados.

Igualmente, se han tomado secuencias de fotos por cada cuadrata, que servirán para la evaluación de las tendencias con el paso del tiempo en estas ubicaciones y para verificar en el



laboratorio el uso del sustrato por parte de peces y otros organismos móviles. Para la movilización del personal y el equipo de trabajo, se utilizó un bote de fibra de vidrio de 25 pies de largo con motor fuera de borda de 60 hp facilitado por MINERA PANAMÁ. Los datos fueron recolectados a través de buceos de diferente duración realizados por un equipo de dos buzos profesionales con equipo de buceo autónomo y apoyo de un tercer buzo-paramédico desde la embarcación, con la observación de un buceador en superficie con snorkel.

Para la clasificación e identificación de los organismos se utilizaron las guías de identificación de Humann (2006) sobre corales, peces y creaturas arrecifales; en los libros de Veron (2000) para identificación y listado de especies corales pétreos; para la Identificación de corales blandos en campo, en la guía de Humann (2006), en la guía publicada por la Universidad de Warwick (2007) para la identificación visual de este grupo, otras guías STRI Bocas Data Base (2012) y Collin et al. (2005), para invertebrados.

Para el cálculo de la cobertura (en% del área ocupada por cada grupo) a partir de las imágenes de los cuadrantes tomadas por el buceador, se utilizó el programa CPCe (Coral Point Count con extensiones de Excel), que es un software basado en Windows (solo para PC). Un número especificado de puntos espacialmente aleatorios se distribuyen en cada imagen y las características subyacentes a los puntos son identificados por el usuario. Los análisis y clasificación de las imágenes fueron llevadas a cabo por zoólogos marinos de amplia experiencia en estudios similares en el mar Caribe de Panamá, apoyados en algunos casos por especialistas en cada uno de los grupos estudiados.



Muestreo de fondos duros con cuadrante sobre soporte al que va incorporado la cámara submarina y el flash led de alta potencia. Con esta técnica se ha mejorado la calidad y precisión de las fotografías submarinas en los cuadrantes de muestreo



3.5. Monitoreo de biología marina (comunidades de fondos blandos y peces)

El monitoreo de biología marina ha constado de:

- Monitoreo de la calidad del agua (química del agua), el cual se realizará durante el monitoreo marino (ver el punto anterior).
- Monitoreo de la calidad y estructura de los sedimentos, el cual una parte (química de los sedimentos) se realizará como parte del monitoreo marino y el tamaño de las fracciones del sedimento (ver el punto anterior).
- Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (bentos marino) en fondos blandos.
- Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león. Monitoreo de las concentraciones de metales en el tejido de este pez.

A) Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

En los sitios de muestreo, se ha procedido a tomar 3 muestras de fondos blandos, utilizando una draga tipo Eckman de 0,0225 m² de área de apertura o mediante la ayuda de buceadores en una superficie aproximada de 0,045 m² y 5-10 cm de profundidad de sedimento. Las muestras se rotularon y posteriormente fueron tamizadas en un tamiz de 500 micras de tamaño de malla, para eliminar el sedimento y retener los organismos bentónicos. Los organismos se almacenaron en frascos plásticos debidamente etiquetados con la información de la colecta y fijados con alcohol al 95% para su análisis en laboratorio.

Para el análisis de las muestras, se empleó un estereoscopio y se utilizaron claves de identificación para diversos grupos taxonómicos como la de Fauchald, 1977; Salazar-Vallejos, 1991 y Liñeros, 1997 para los poliquetos; Abbott, 1954; Keen, 1971 para los moluscos; Rodríguez, 1980 para los crustáceos. La identificación se realizó de manera que se pudiera determinar hasta el menor taxón posible. Los datos se estandarizaron por categorías de valores referidos a 1 m². Adicionalmente, se ha obtenido la información sobre densidad (n° individuos/m²) y el número de individuos por especie, así como de parámetros poblacionales.

B) Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león

Para la estima y censo de las poblaciones de peces, se ha seguido el método de censo visual de transecto de banda, al ser uno de los protocolos más utilizados para la evaluación de la riqueza, densidad y biomasa de peces arrecifales (Brock 1982).

Con este método, el buzo nada en línea recta siguiendo la cinta métrica de 50 m de longitud situada en el fondo, con una anchura de observación variable en función de la visibilidad de cada sitio. En ese tiempo se realiza las estimaciones de riqueza de especies, mientras otro buzo nada de forma errante cerca de la zona en donde se encuentra fijado el transecto y un tercero nada en superficie (con snorkel y en sitios someros), obteniendo información adicional sobre presencia de peces de interés económico o ecológico (entre ellas, observaciones del pez león). Con la ayuda de una tablilla, los buzos anotaron sus observaciones; asimismo, se



utilizaron cámaras submarinas de fotos y video para complementar la información obtenida con los recorridos visuales. Se estimó la densidad (D) de cada especie según la siguiente expresión:

$$D=P*(n/L*W))$$

siendo n el número de peces, L la longitud del transecto (50 m), W la anchura de conteo (5 m a cada lado de la cinta, es decir 10 m) y P la probabilidad de detección (0,8), tabulando los resultados en clases y referido a ind/10³ m².

3.6. Monitoreo de rompeolas

Durante el presente estudio, se ha continuado con los muestreos en el rompeolas del puerto de Punta Rincón iniciados en el monitoreo del año 2016, como parte de un estudio específico para valorar estas nuevas áreas como hábitats artificiales.

Para ello, se seleccionaron siete (7) sitios de muestreo o transeptos de control (RO1 a RO7), situados en la parte externa e interna del rompeolas y distribuidos de forma representativa en toda su longitud.

En el **Cuadro 3** se incluyen las principales características de los sitios de monitoreo en el rompeolas y actividades realizadas y en el **Plano 3** se localizan estos sitios y transeptos en el rompeolas.

CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO EN EL ROMPEOLAS				
CÓDIGO SITIO DE MONITOREO	ZONA ROMPEOLAS	ACTIVIDADES REALIZADAS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
			ESTE	NORTE
RO1	Externa	Estudio fondos duros y peces	533234	997207
RO2	Externa	Estudio fondos duros y peces	533316	997312
RO3	Externa	Estudio fondos duros, peces	533476	997298
RO4	Interna	Estudio fondos duros y peces	53480	997310
RO5	Interna	Estudio fondos duros y peces	533315	997181
RO6	Interna	Estudio fondos duros y peces	533365	997232
RO7	Externa Extremo rompeolas	Estudio fondos duros y peces	533371	997244



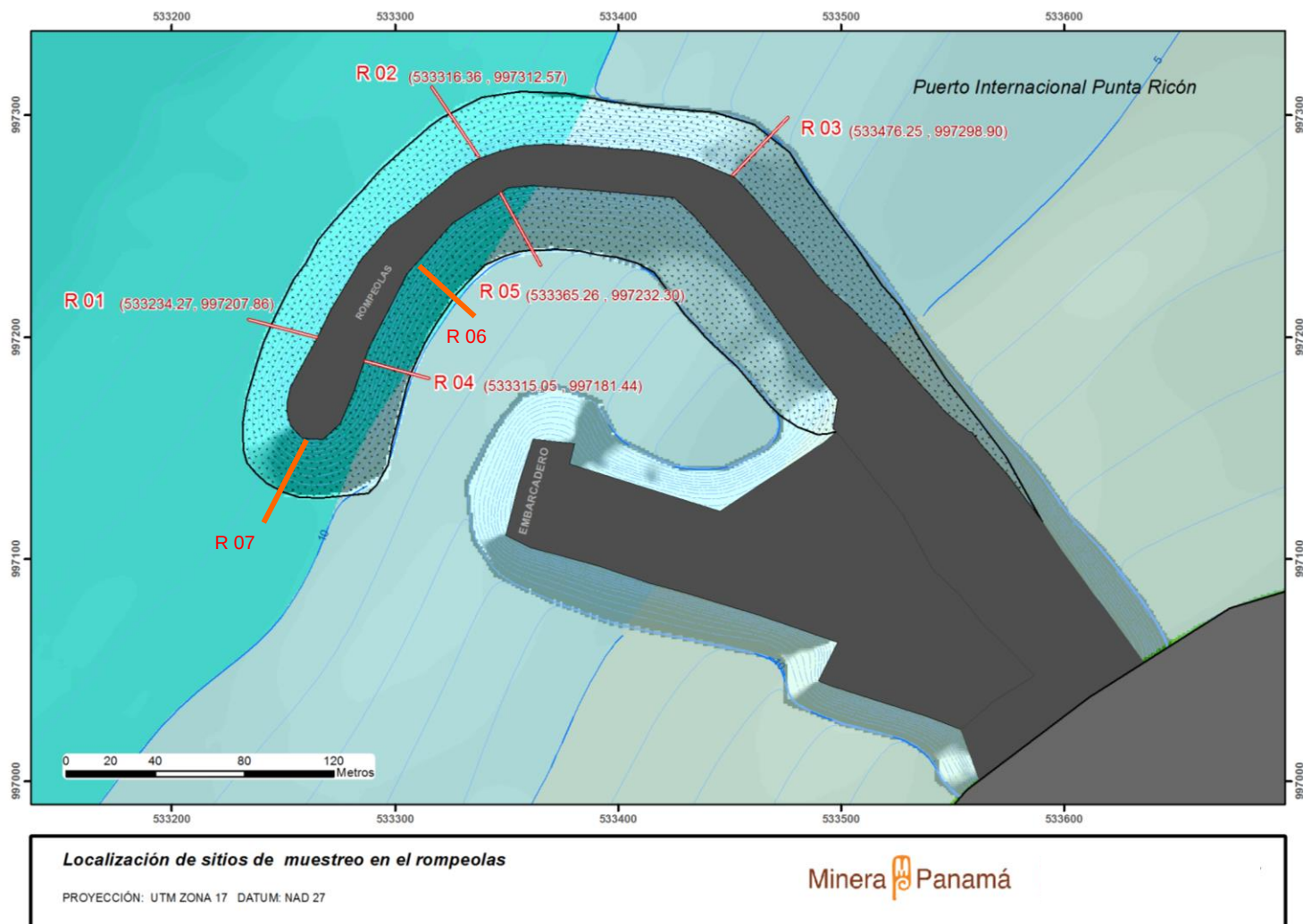
Se realizaron los mismos muestreos que en fondos duros y comunidades de peces, con la misma metodología descrita en el apartado anterior, centrando los trabajos en la determinación de las siguientes variables:

- Porcentaje de cobertura de los organismos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el sustrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Composición y abundancia de peces.

Al igual que en el muestreo biológico en fondos duros, se ha cuantificado -utilizando una cuadrata de 1 m² el porcentaje de cobertura (%) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados, así como fotografía y vídeo submarino de cada sitio de muestreo.



Muestreo de rompeolas con apoyo de cuadrata provista de cámara de fotos y video, con focos submarinos led de alta potencia.



Plano 3. Localización de los sitios de monitoreo y transeptos en el rompeolas.



4. RESULTADOS MARINO-COSTEROS

4.1. Calidad de aguas

4.1.1. Condiciones de los muestreos y medidas in situ

Los resultados de las medidas *in situ* de los parámetros físico-químicos a -1 m y las condiciones ambientales en las que se efectuaron los muestreos se incluyen en el **Cuadro 4**.

CUADRO 4. MEDIDAS IN SITU DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN AGUA DE MAR (-1 m)

SITIO	FECHA DE MUESTREO	pH	TURBIEDAD (NTU)	T (°C)	SAL. (PSU)	OD mg/L	OD %Sat.
HB-R3	26-04-2023	8,2	0,5	28,2	41,2	6,2	101,2
HB-R33	27-04-2023	8,2	0,5	28,5	41,3	6,1	102,2
HB-CE	27-04-2023	8,1	1,1	29,7	40,5	6,1	103,5
HB-R12	25-04-2023	8,2	0,4	29,4	41,4	6,0	98,5
HB-R15	26-04-2023	8,2	0,4	29,5	41,6	6,1	99,8
HB-R18	26-04-2023	8,2	0,4	29,5	41,4	6,1	99,7
HB-T1	25-04-2023	8,2	0,5	31,7	41,2	5,7	94,3
HB-T2	25-04-2023	8,2	0,4	29,6	41,2	6,1	100,7
HB-E4	26-04-2023	8,2	0,4	30,0	40,4	6,4	106,4
HB-E10	26-04-2023	8,2	0,5	29,7	41,1	6,3	103,7

Los monitoreos se han realizado con excelentes condiciones climatológicas, ausencia de olas y ligero viento de componente Norte. La transparencia del agua con el disco de Secchi ha alcanzado el fondo de cada sitio, con valores superiores a los 20 m de profundidad.

Los parámetros físico-químicos de calidad de agua medidos in situ en los sitios monitoreados no ha presentado cambios con respecto a otros monitoreos, manteniendo el agua de mar unas condiciones de oxigenación, salinidad y temperatura propios de la época estudiada. La turbiedad ha sido muy baja e inferior en todos los sitios a 2 NTU.

En la tabla adjunta se resume un avance de los parámetros medidos. Se concluye que en ningún sitio se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3°C de las condiciones naturales que indica el Decreto Ejecutivo N° 75), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) de los límites del Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

En los **Gráficos 1 y 2** se ha representado la evolución temporal (2016-2023) de los principales parámetros de calidad (oxígeno disuelto y turbiedad) en los diferentes sitios de monitoreo.

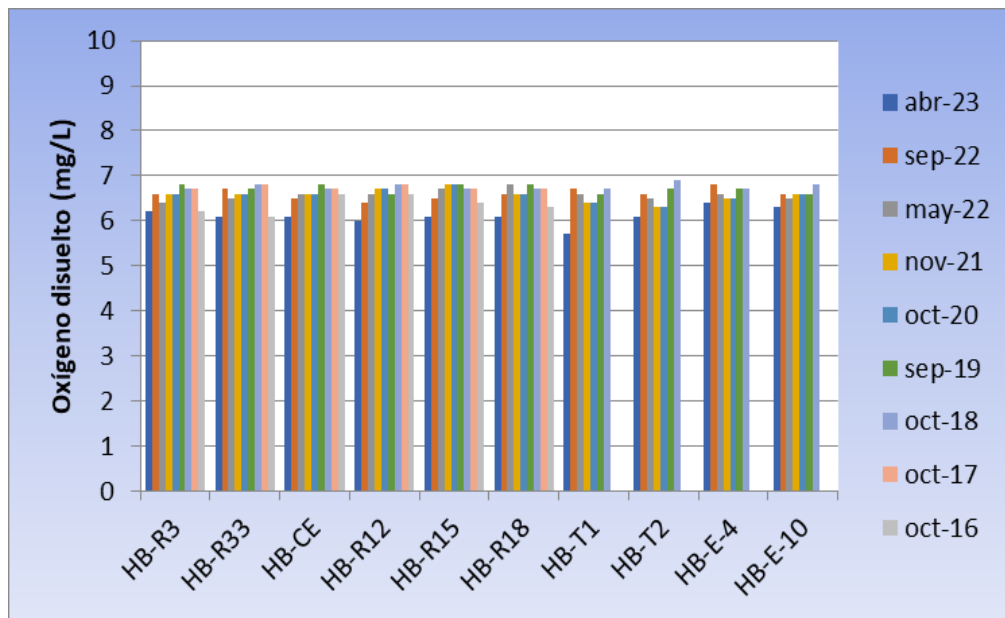


Gráfico 1. Evolución temporal del oxígeno disuelto (mg/L) en los diferentes sitios de monitoreo (período octubre 2016-abril 2023)

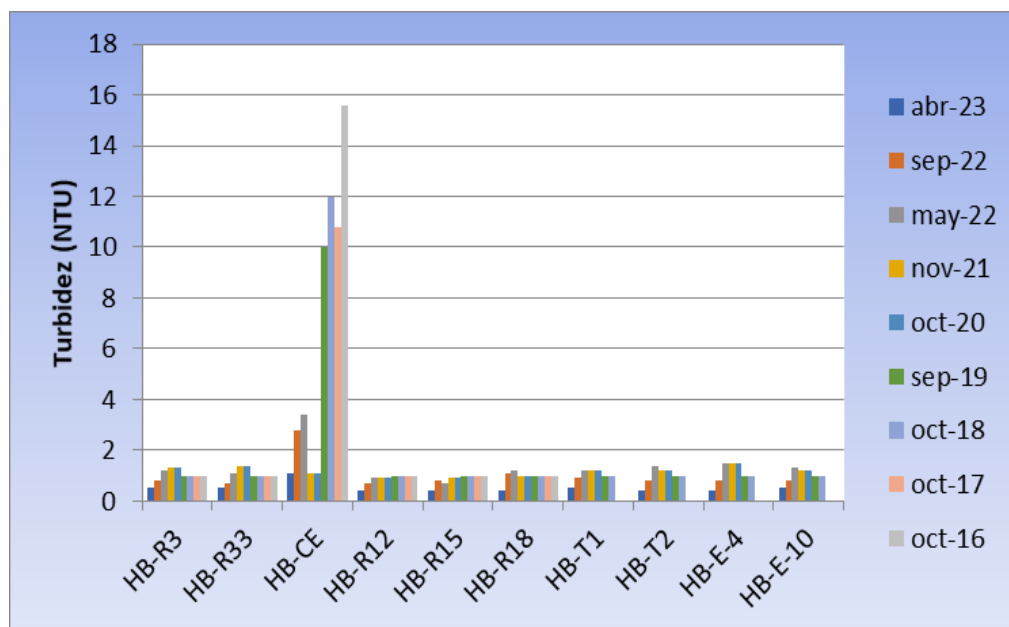


Gráfico 2. Evolución temporal de la turbidez (NTU) en los diferentes sitios de monitoreo (período octubre 2016-abril 2023)

4.1.2. Química del agua marina

En el **Anexo 1** se incluyen los Informes de Ensayo de los análisis del laboratorio externo contratado por MINERA PANAMÁ de todos los análisis realizados en agua marina.

En relación a los resultados de calidad de aguas obtenidos, se destacan los siguientes puntos:

- Todos los sitios de muestreo presentan concentraciones en los parámetros analizados muy similares, sin diferencias significativas entre ellos. Son propios de aguas marinas del litoral del Caribe panameño, en donde no se aprecian efectos de la posible contaminación asociado con las obras de construcción del puerto o de la propia mina.
- Por su parte, el sitio de muestreo HB-CE presenta, para algunos parámetros (TSD y nutrientes), concentraciones ligeramente más altas que el resto de sitios de muestreo, debido a que este punto se encuentra muy próximo a la desembocadura del río Caimito, que aporta este tipo de sustancias al agua procedente de la escorrentía de su cuenca.
- En ningún caso, las concentraciones de los parámetros analizados indican contaminación de origen antrópico, correspondiendo los valores más altos en el punto próximo a la desembocadura del río Caimito a un origen telúrico y natural.



Preparación de los equipos para el monitoreo submarino.



4.2. Calidad de sedimentos

4.2.1. Análisis granulométrico de sedimentos

Los resultados del análisis granulométrico se recogen en el **Anexo 2**. De estos resultados cabe destacar que los fondos blandos que componen los diferentes sitios de muestreo son relativamente homogéneos en su composición granulométrica y están compuestos de arenas medias a gruesas. No se ha registrado diferencias significativas entre las muestras y características del litoral en Punta Rincón. HB-CE se comporta ligeramente diferente al resto de sitios, con mayor predominio de la componente de 0.125 mm.

Por consiguiente, se puede concluir que no se aprecian efectos asociados con la operación del puerto o de la Mina, debido al escaso porcentaje de arenas finas y limos presentes en los sedimentos de los sitios someros de HB-R12, HB-R15 y HB-R18 (más próximos a la costa y potencialmente influenciados) y los situados en áreas más profundas (HB-R3 y HB-R33). Los sitios HB-T1 y HB-T2 presentan una composición mayoritaria de arenas, al igual que HB-E4 y HB-E10, aunque con presencia de restos de hojas.

En el **Gráfico 3** se representan de forma porcentual (%) la distribución granulométrica en cada sitio muestreado.

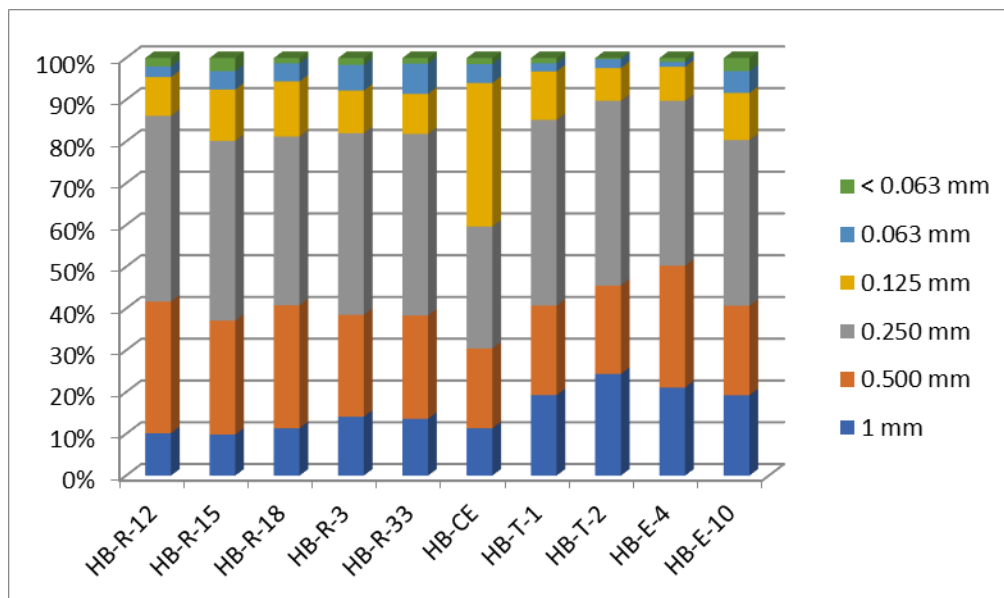


Gráfico 2. Distribución porcentual (%) de la composición granulométrica en los diferentes sitios de muestreo (gravas y arenas muy gruesas >2mm; arenas 0.06-2 mm; <0.06 mm arcillas y limos).



4.2.2. Análisis de contaminantes en sedimentos

En el **Anexo 1** se recogen los resultados de los análisis de metales pesados totales en sedimentos referido a mg/kg de materia seca (s.m.s.). Asimismo, durante este monitoreo se han realizado cianuro total, hidrocarburos totales de petróleo (C10-C40) y aceites y grasas.

El cianuro total se mantiene siempre por debajo del límite de detección (LD) de 0,25 mg/kg. Los Hidrocarburos Totales de Petróleo también aparecen con concentración en sedimentos por debajo de los LD de 1,9 mg/kg del método analítico o en bajas concentraciones (<25 mg/kg), lo que indica una concentración muy baja o no detectable. Las concentraciones de aceites y grasas son variables y se encuentran dentro de rangos comparables (50-200 mg/kg).

Para valorar el grado de contaminación por algunos metales pesados de los sedimentos y sus efectos probables en la biota marina, se ha empleado los valores de referencia del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME, 2001)². Los valores incluyen los niveles guía de calidad (ISQG, como mg/kg de materia como peso seco), el valor de efectos probables (PEL, como mg/kg de materia como peso seco) y la incidencia (en %) de los efectos biológicos adversos en tres rangos de concentración para los valores guía. (ver **Cuadro 5**).

CUADRO 5. VALORES GUÍA DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS MARINOS (mg/kg ps) Y LA INCIDENCIA (%) DE EFECTOS ADVERSOS EN LA BIOTA MARINA					
METAL	ISQG	PEL	%≤ISQG	ISQG<%<PEL	%≥PEL
Arsénico	7,24	41,6	3	13	47
Cadmio	0,7	4,2	6	20	71
Cromo	52,3	160	4	15	53
Cobre	18,7	108	9	22	56
Plomo	30,2	112	6	26	58
Mercurio	0,13	0,70	8	24	37
Zinc	124	271	4	27	65

Las concentraciones de arsénico, cadmio y cobre se mantienen en todos los sitios por debajo del valor guía PEL y superiores al valor ISQG, con excepción del punto HB-R3 que tiene un valor inferior a 3,6 mg/kg. El cobre se mantiene por debajo del valor ISQG en los sitios HB-R33, HB-R15, HB-r18 y HB-R3, presentando el resto de sitios valores inferiores al valor guía PEL. Los metales plomo, mercurio y zinc se mantienen en todos los sitios por debajo de los límites ISQG.

Cabe destacar, que estos límites se han tomado como valores de referencia, al no disponer Panamá de legislación al respecto. Estos valores están asociados con unos efectos probables en la biota propia de las aguas frías de Canadá, sin relación probada con los efectos en la biota de las aguas subtropicales de la costa del Caribe en Panamá.

² Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Summary Tables. Updates. In: Canadian environmental quality guidelines.



4.3. Análisis de metales pesados en pez león

En el **Anexo 1** se recogen los análisis de metales pesados totales en tejidos de pez león, seleccionado como especie objetivo, referidos a materia seca (s.m.s.).

Las concentraciones de metales pesados en tejidos del pez león han sido relativamente bajas en todos los sitios de muestreo y por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos empleados.

Teniendo en cuenta la norma de referencia europea (Reglamento CE 104/2000 y Reglamento CE 466/2001 de 8 de Marzo de 2001) para contenido de metales pesados en productos alimentarios de carne de pescado, se cumple con el límite para plomo (0,2-0,4 mg/kg), cadmio (0,05-0,1 mg/kg) y mercurio (0,5-1,0 mg/kg). Para el resto de metales pesados no se cuenta con valores legales de referencia.



Presencia de pez león en los fondos duros profundos de HB-R3.



4.4. Hábitats de fondos duros

4.4.1. Introducción

En la costa del Caribe, en la parte central de Panamá, predominan las playas arenosas de poca pendiente y con fuerte oleaje, caracterizadas por poseer ecosistemas marinos sublitorales (arrecifes de corales) agrupados en pequeñas colonias asociados a rocas de origen basáltico.

Las formaciones coralinas asociadas a estos tipos de fondos se consideran arrecifes de tipo costeros, bordeante o someros, por encontrarse entre 1 o 5 metros. Sin embargo, también en algunas ocasiones estas formaciones se pueden encontrar entre los 25 y 35 m de profundidad, y están recubiertos por una capa delgada de organismos como plantas, esponjas y colonias aisladas de corales. Estos organismos, además de ser raros, son poco conocidos, y guardan una estrecha relación con otras especies que allí habitan, ya que son utilizados como recursos tróficos o refugio.

Los fondos duros rocosos juegan un rol importante en la ecología y la fauna típica asociada. La complejidad del sustrato que posean estos fondos, arenoso o rocoso, determinará el éxito de las especies que colonizan esta zona.

Los fondos duros profundos ubicados frente a Punta Rincón, poseen un sustrato rocoso variable entremezclado con arena. Las zonas profundas se caracterizan por poseer menor penetración de la luz y moderada a baja turbidez, lo que limita el crecimiento de ciertas especies y contribuye al desarrollo de otras como esponjas y colonias de corales. Por su parte, los fondos duros someros se caracterizan por presentar una alternancia de sustratos duros y parches de arena y una mayor penetración de la luz, aunque están expuestos de forma más intensa a la acción del oleaje y los aportes de agua dulce del continente.

Se presentan los resultados obtenidos en los muestreos de fondos duros, divididos en fondos profundos –que se corresponden con los sitios de muestreo HB-R3 y HB-R33- y los fondos someros –HB-R12, HB-R15 y HB-R18-. Cabe indicar que, además de los reconocimientos visuales de los buceadores y su anotación en libretas, se ha empleado en este trabajo de forma novedosa la identificación automática de imágenes de cada cuadrante mediante la técnica CPCe (Coral Point Count con extensiones de Excel). Igualmente, se contó con el asesoramiento de especialistas en la identificación complementaria de los diferentes grupos biológicos.

4.4.2. Fondos duros profundos

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios HB-R3 y HB-R33 de fondos duros profundos, se resumen en el **Cuadro 6**.

En el **Cuadro 7** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos- reconocidas en los trabajos en HB-R3 y HB-R33.



CUADRO 6. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN FONDOS DUROS PROFUNDOS		
GRUPO BIOLÓGICO	HB-R3	HB-R33
Corales	11,9	11,1
Gorgóneas	2,0	2,5
Eponjas	12,1	12,6
Zoántidos	1,5	1,5
Macroalgas	0	0
Otras formas de vida	0,5	0,5
Coral con algas muertas	0	0
Algas coralinas	14,5	12,5
Corales enfermos	0	0
Fondo de arena y piedras	56	57
Desconocidos	1,5	2,3

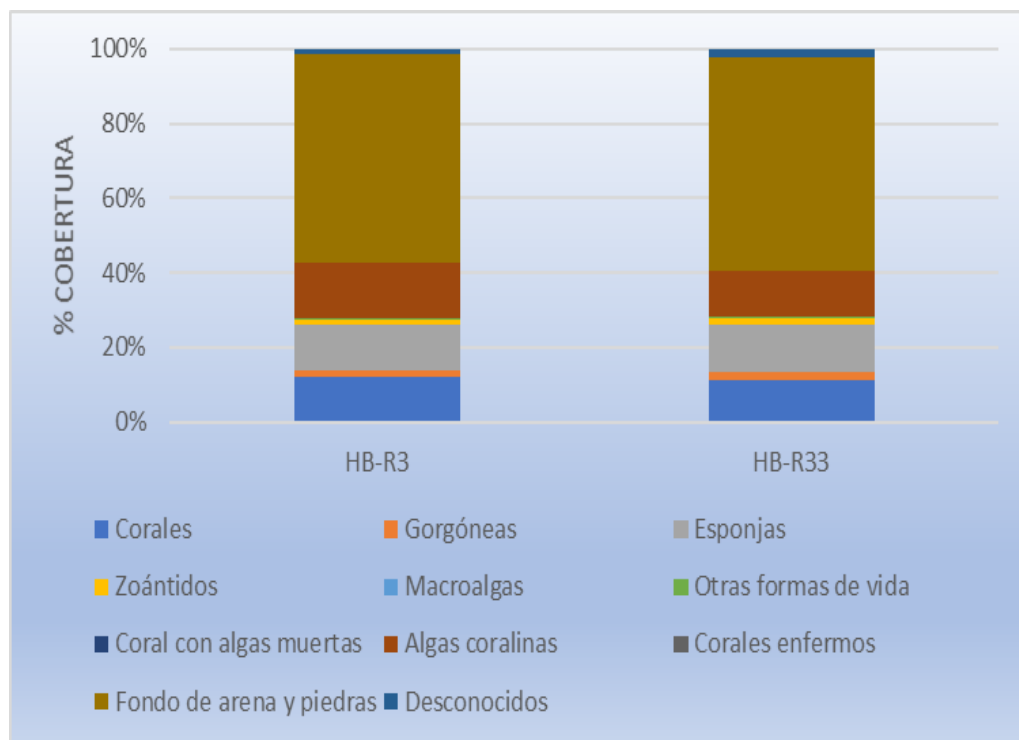


Gráfico 4. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de muestreo de fondos duros profundos.



CUADRO 7. COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS PROFUNDOS

GRUPOS BIOLÓGICOS	NOMBRE DE LA ESPECIE	HB-R3	HB-R33
Corales	<i>Agaricia agaricites</i>	3	3,5
	<i>Agaricia lamarcki</i>	1	1
	<i>Agaricia undata</i>	2	2
	<i>Agaricia fragilis</i>	1	2
	<i>Agaricia grahamae</i>	0,5	2
	<i>Diploria clivosa</i>	1	1
	<i>Isophyllia sinuosa</i>	1,5	1
	<i>Favia fragum</i>	1	1
	<i>Mycetophyllia ferox</i>	0,5	0,5
	<i>Siderastrea siderea</i>	1	0,5
	<i>Muriceopsis flavida</i>	1	0,5
	<i>Meandrina sp</i>	2,5	2
Algas	<i>Halimeda tuna</i>	2	0,5
	<i>Lobophora variegata</i>	1	1
	<i>Penicillus pyriformis</i>	0,5	1,5
	<i>Ventricaria ventricosa</i>	0,5	0,5
	<i>Galaxaura sp</i>	1	0,5
	<i>Dictyota menstrualis</i>	1	0,5
	<i>Amphiroa fragilissima</i>	1	0,5
	<i>Amphiroa rigida</i>	0,5	0,5
Esponjas	<i>Amphimedon compressa</i>	1	0,5
	<i>Aplysina cauliformis</i>	1	0,5
	<i>Aplysina fulva</i>	0,5	1
	<i>Callyspongia vaginalis</i>	1	1,5
	<i>Verungula rígida</i>	0,5	0,5
	<i>Ircinia campana</i>	1	0,5
	<i>Ircinia strobilina</i>	0,5	0,5
	<i>Spirastrella coccinea</i>	0,5	.5
	<i>Verongula gigantea</i>	1	0,5
	<i>Xestospongia muta</i>	1	1,5
	<i>Xestospongia subtriangularis</i>	1	0,5
Gorgóneas	<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>	0,5	0,5
	<i>Pseudopterogorgia americana</i>	1	0,5
Ascidiea	<i>Ascideas sp</i>	0,5	0,5
Zooantidos	<i>Palytoa caribeorum</i>	0,5	1
Poliquetos	<i>Spirobranchus giganteus</i>	1	0,5
Crustaceos	<i>Panulirus argus</i>	3	3,5

NOTA: Para facilitar la compartativa con la cobertura obtenida para cada especie en otros monitoeos, se ha mantenido el mismo listado de especies, aunque la cobertura haya sido cero.



Sitio de muestreo HB-R3

Corales

En el transecto HB-R3 se mantienen las colonias de corales formadoras de arrecifes de profundidad, presentando una cobertura de 11,9%. Se han identificado doce especies, destacando como dominantes *Agaricia agaricites* (mayoritaria en cobertura con un 3%), *Isophyllia sinuosa*, *Diploria clivosa* y *Isophyllia sinuosa*, y en menor medida *Agaricia undata*, *Sidastrea siderea* y, en este monitoreo, *Meandrina* sp. en fase inicial. Se trata de especies señaladas como pioneras en cuanto a la colonización de arrecifes de corales.

Algas o Algas Coralinas

Las algas coralinas siguen dominando la comunidad de fondos duros profundos, con un porcentaje de cobertura del 14,5%. El grupo de algas dominantes, en cuanto a diversidad, son las algas verdes (Clorofitas), Las algas rojas (Rodofitas) *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*, entre mezcladas junto a estas se encuentran *Labbiophora variegata* y *Penicillius pyriformis* especies con alto contenido de carbonato de calcio (algas coralinas incrustantes) y que juegan un papel fundamental en la consolidación y estabilización de los arrecifes de corales.

Esponjas

Las esponjas fue el segundo grupo más abundante, y observado en todo el transecto, con una cobertura de 12,1%. Entre las especies registradas en este sitio, destacan nuevamente *Verungula rigida*, *Clathrina primordialis*, *Ircinia campana*, *Ircinia strobilina*, *Spirastrella coccinea* y *Verongula gigantea*.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 2,5% de la cobertura. También en este monitoreo se registraron las especies *Pseudopterogorgia acerosa* y *Pseudopterogorgia americana*.

Desconocidos y otras formas de vida

Los grupos denominados como “desconocidos³ y otras formas de vida” representan el 0,5% de cobertura registrada, en las que se registran las Ascidiás y los invertebrados marinos .

Zooantidos

El orden agrupa a especies, tanto solitarias como coloniales, que se encuentran comúnmente en muchos ambientes marinos, incluso los arrecifes de coral. Con un 1,5%, destaca la especie *Palytoa caribeorum*.

³ Se incluyen dentro del grupo “desconocidos” a aquellos taxones que no han podido ser identificados con la metodología de uso de imagen utilizada.



Sitio de muestreo HB-R33

Corales

La cobertura en este sitio fue similar a la registrada en el punto anterior, con 11,1%. También destacan las mismas especies, ya que se trató de ambientes marinos profundos muy similares y próximos. Las especies más abundantes fueron *Agaricia agaricites*, *Agaricia undata*, *Diploria clivosa* y *Isophyllia sinuosa*.

Algas o Algas Coralinas

También en este transecto predominaron las algas coralinas, por detrás de las esponjas con un escaso margen, alcanzando los 12,5% de cobertura. Dominaron las algas verdes como *Halimeda tuna*, *Lobophora variegata* y *Galaxaura* sp.; y rojas (Rodofitas), dentro del cual se reportaron especies como *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*. Participan en la mayoría de las comunidades litorales y su abundancia permite considerarlas como elementos característicos de numerosos hábitats.

Esponjas

El grupo de esponjas alcanzó 12,6% de cobertura, siendo el más abundante. Entre las especies más significativas se encuentran: *Aplysina cauliformis*, *Aplysina fulva*, *Aplysina lacumosa*, *Ircina campana*, *Ircina strobilina*, *Spirastrella coccinea*, *Verongula gigantea* y *Xestospongia muta*. Estas especies son típicas de fondos duros del Caribe sobre los 15-40 m de profundidad, que reciben una luz moderada a baja, lo que limita su crecimiento.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 3,4% de la cobertura. Las especies *Pseudopterogorgia amaericana* y *Pseudopterogorgia acerosa* fueron las más representativas.

Desconocidos y otras formas de vida

Los “desconocidos y otras formas de vida” representan el 2,5% de cobertura registrada, es decir, en los que se encuentran las Ascidiás y los invertebrados marinos.

Zooantidos

Los zooantidos, al igual que en HB-R3, están representados por *Palytoa caribaeorum* con 1,5% de cobertura similar.



4.4.3. Fondos duros someros

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios HB-R12, HB-R15 y HB-R18 de fondos duros someros se resumen en el **Cuadro 8**.

Por su parte, en el **Cuadro 9** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos- reconocidas en los trabajos.

CUADRO 8. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN FONDOS DUROS SOMEROS			
GRUPO BIOLÓGICO	HB-R12	HB-R15	HB-R18
Corales	3,2	4,5	4,0
Gorgóneas	2,0	1,5	1,5
Esponjas	5,3	5,5	5,0
Zoántidos	1,0	1,5	0,5
Macroalgas	0,0	0,0	0,0
Otras formas de vida	1,5	1,5	1,5
Coral con algas muertas	0,0	0,0	0,0
Algas coralinas	1,0	0,5	1,5
Corales enfermos	0,0	0,0	0,0
Fondo de arena y piedras	85,0	84,0	84,0
Desconocidos	1,0	1,0	2,0

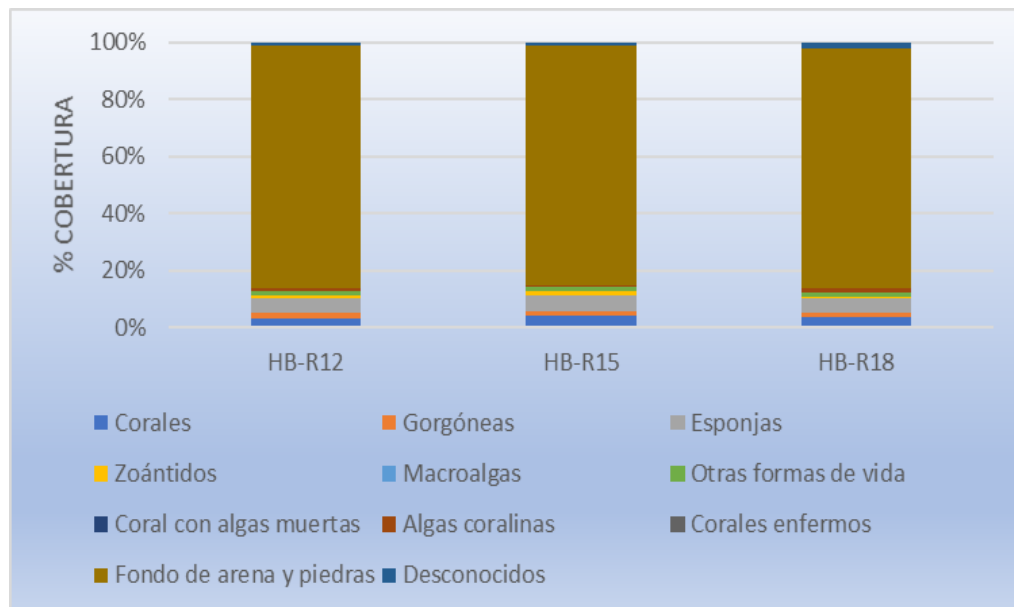


Gráfico 5. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de muestreo de fondos duros someros.



CUADRO 14, COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS SOMEROS

TAXAS	ESPECIES	HB-R12	HB-R15	HB-R18
Corales	<i>Agaricia agaricites</i>	1,0	1,0	1,5
	<i>Agaricia undata</i>	1,0	1,0	1,0
	<i>Agaricia fragilis</i>	0,5	0,5	0,5
	<i>Agaricia grahamae</i>	0,5	1,0	0,5
	<i>Diplora clivosa</i>	0,0	0,0	0,5
	<i>Porites asteroides</i>	0,0	0,5	0,5
	<i>Muriceopsis flavida</i>	1,0	0,0	1,0
Algas	<i>Siderastrea siderea</i>	1,5	0,0	1,5
	<i>Halimeda tuna</i>	0,5	1,0	0,5
	<i>Dictyota menstrualis</i>	1,0	0,0	0,5
	<i>Padina pavonica</i>	0,0	0,5	1,5
Esponjas	<i>Amphiroa fragilissima</i>	0,0	0,0	1,0
	<i>Aplysina cauliformis</i>	1,0	0,5	1,5
	<i>Aplysina fulva</i>	1,0	0,5	0,5
	<i>Callyspongia vaginalis</i>	0,0	1,0	0,5
	<i>Clathrina primordialis</i>	1,0	1,5	1,5
	<i>Ircinia campana</i>	0,0	1,5	0,5
Gorgóneas	<i>Xestospongia muta</i>	1,0	0,5	0,0
	<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>	1,0	0,5	0,0
	<i>Pseudopterogorgia americana</i>	0,5	1,0	0,0
Zooantido	<i>Palytoa caribaeorum</i>	0,5	0,5	1,5
Otros	<i>Ascideas sp</i>	1,5	0,0	0,5
Crustáceos	<i>Panulirus argus</i>	1,0	0,0	0,5
Equinodermos	<i>Echinometra lucunter</i>	0,0	0,0	1,0

NOTA: Para facilitar la compartiva con la cobertura obtenida para cada especie en otros monitoeos, se ha mantenido el mismo listado de especies, aunque la cobertura haya sido cero.

Este tipo de fondo costero somero o bordeante se caracteriza por presentar restos de promontorios rocosos o arrecifes fósiles, alternados con playas arenosas y rocas de origen basáltico. Las zonas ocupadas con fondos en los que dominaban las arenas o restos de piedra sin colonizar representaron para el sitio HB-R12 un 85%; para HB-R15 un 84% y para HB-R18 un 84%. Entre los aspectos más limitantes se encuentra el oleaje -que puede llegar a ser muy fuerte en algunas épocas del año- y la sedimentación. El arrastre de sedimentos y su depósito en estos sitios son especialmente importantes cuando provienen del norte.



Corales

Los arrecifes de esta área muy cercanos a la costa son colonias que deben adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Se registró un total de siete especies, formadas principalmente por especies pioneras como *Siderastrea sidérea*, *Agaricea undata*, *Agaricia agaricites* y *Porites astreoides*, este último el más representativo de este tipo de fondo. De esta forma, HB-R12 tuvo una cobertura de 3,2%, HB-R15 un 4,5% y HB-R18 un 4,0%.

Algas y Algas Coralinas

También en los sitios someros se han registrado algas y algas coralinas asociadas a fondos arenosos y sustratos de piedra. Los porcentajes registrados para este grupo biológico fueron en HB-R12 con 1,0%, HB-R15 con 0,5% y HB-R18 con 1,0%, ligeramente inferior a otros monitoreos.

Esponjas

Para este grupo, en el transepto HB-R12 la cobertura fue de 5,3%, en el transepto HB-R15 de 5,5% y en el transepto HB-R18 de 5%. Entre las formas más comunes podemos señalar *Aplysina cauliformis*, *Aplysina fulva*, *Clathrina primordialis*, *Ircina campan* y *Xestospongia muta*.

Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron una cobertura para el sitio HB-R12, con 2,0%, para HB-R15 con 1,5% y para HB-R18 con 1,5%. Las especies *Pseudopterogorgia amaericana*, *Pseudopterogorgia acerosa* y *Muriceopsis flavida* fueron las más representativas.

Zoantidos

Se han registrado coberturas similares en los tres sitios para este grupo de organismos, siendo para HB-R12, de 1,0% para HB-R15 con 1,5% y para HB-R18 con 1%. La especie más representativa es *Palytoa caribaerum*.

Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos, que representan para HB-R12 un 1,0%, para HB-R15 un 1,0% y para HB-R18 un 2,0%.

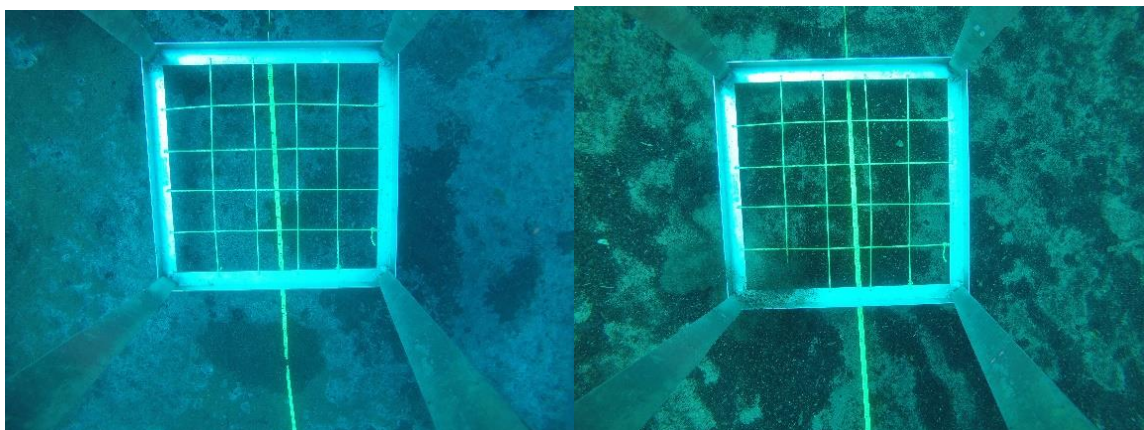


4.4.3. Zonas próximas a la terminal de carga

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios próximos a la terminal de carga del puerto -HB-T1 y HB-T2-, se resumen en el **Cuadro 10**.

CUADRO 10. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN LAS ZONAS PRÓXIMAS A LA TERMINAL DE CARGA		
GRUPO BIOLÓGICO	HB-T1	HB-T2
Corales	0	0
Gorgóneas	0	0
Espojas	0	0
Zoántidos	0	0
Macroalgas	0	0
Otras formas de vida	0	0
Coral con algas muertas	0	0
Algas coralinas	0	0
Corales enfermos	0	0
Fondo de arena y piedras	100	100
Desconocidos	0	0

En los dos sitios monitoreados en las proximidades de la terminal de carga dominan los fondos blandos, formados en su totalidad por arena fina a media. No se han observado la presencia de formas de vida en el sedimento, como corales, gorgóneas, esponjas o zoántidos, ni manchas o residuos de otro tipo, aunque durante este monitoreo se ha registrado restos orgánicos (hojas, maderas, etc) en el fondo traídos por la corriente, al igual a lo observado en la anterior campaña.



Aspecto general del fondo marino en T1 (foto izquierda) y T2 (foto derecha), con presencia de restos orgánicos



4.4.4. Evolución temporal de las comunidades de fondos duros

En los **Gráficos 6 al 9** se incluye la representación de la variación del % de cobertura a lo largo del periodo 2016-2023, de los principales grupos de bentos de fondos duros, tanto para fondos someros, como para profundos.

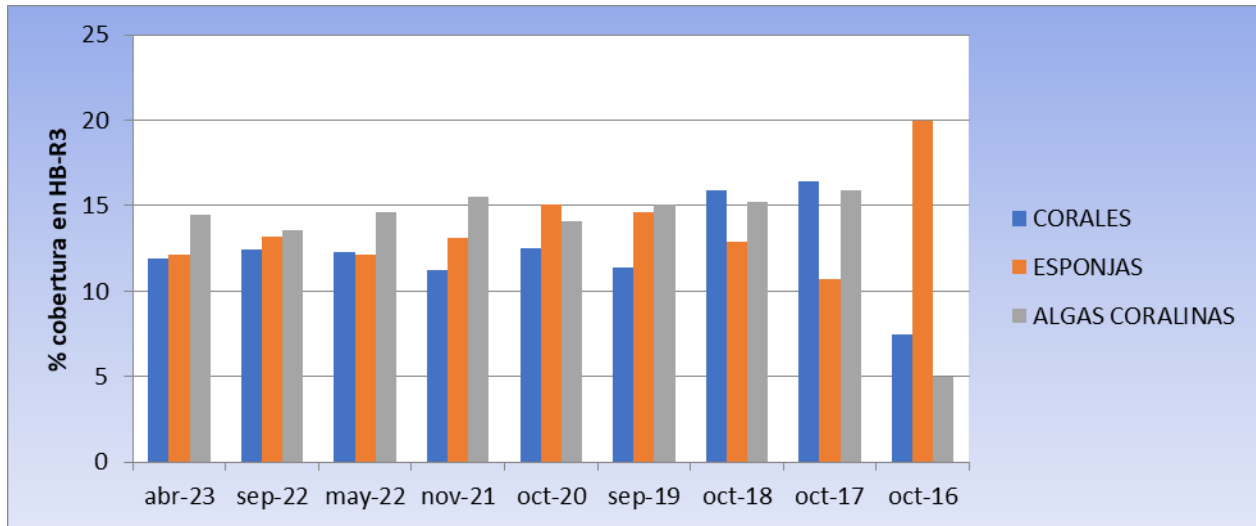


Gráfico 6. Evolución de la cobertura de los principales grupos biológicos de fondos duros en HB-R3 para el periodo 2016-2023.

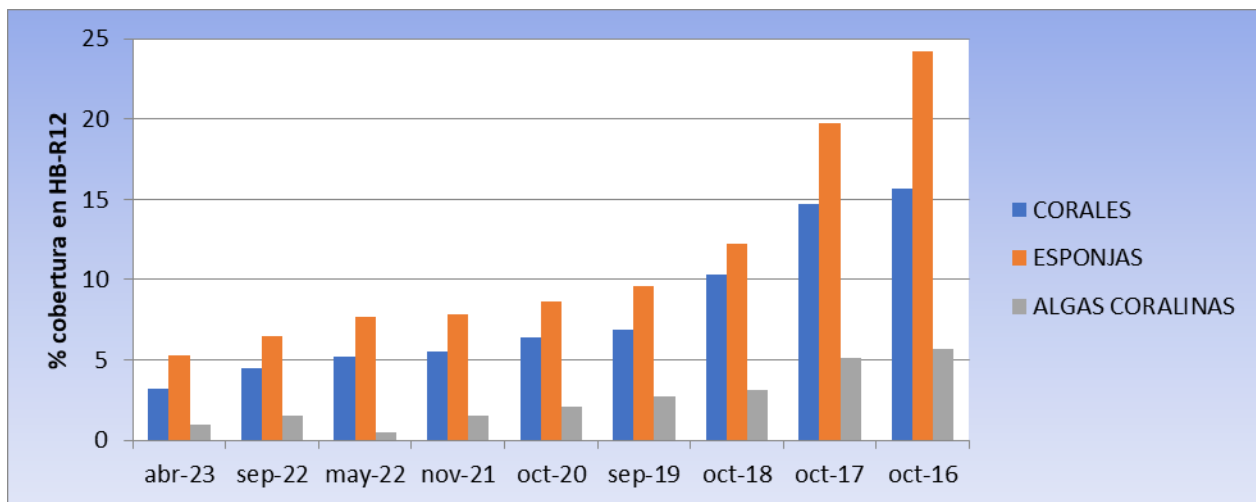


Gráfico 7. Evolución de la cobertura de los principales grupos biológicos de fondos duros en HB-R12 para el periodo 2016-2023.

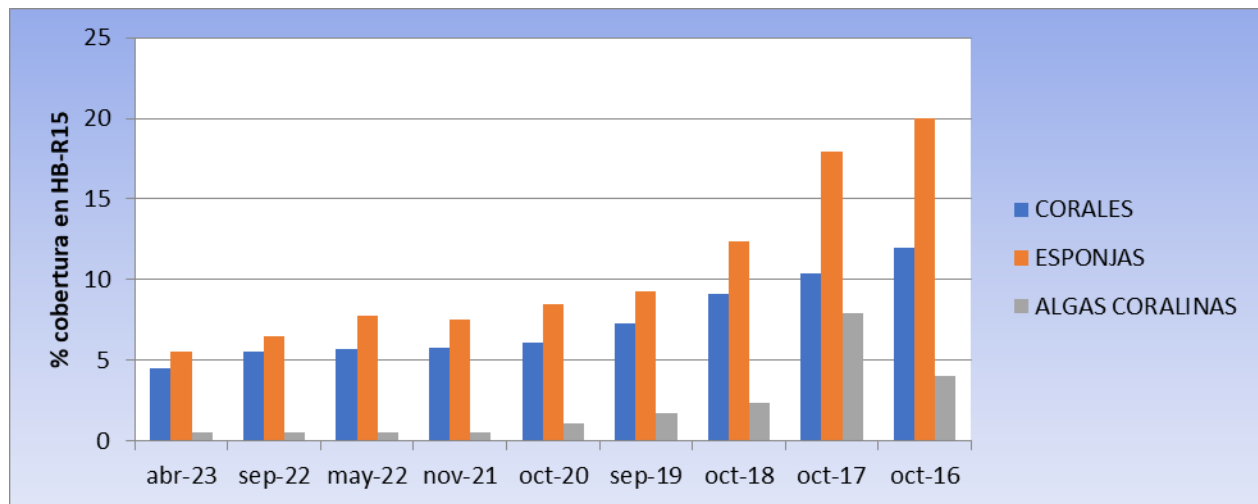


Gráfico 8. Evolución de la cobertura de los principales grupos biológicos de fondos duros en HB-R15 para el periodo 2016-2023.

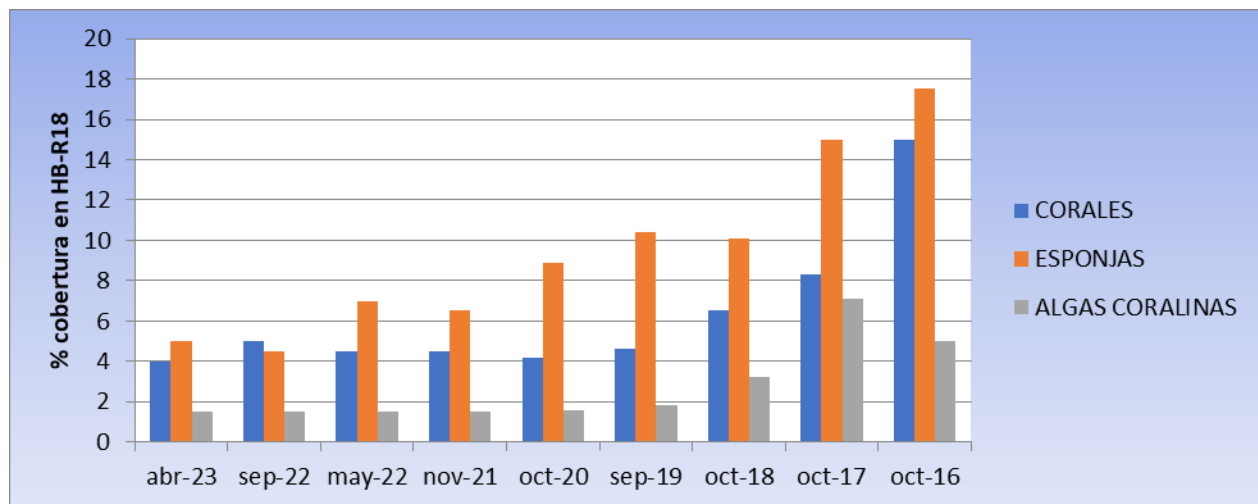


Gráfico 9. Evolución de la cobertura de los principales grupos biológicos de fondos duros en HB-R18 para el periodo 2016-2023.

Como se puede comprobar, en los fondos profundos se mantiene el % de cobertura de los diferentes grupos, con pequeñas variaciones entre los monitoreos. Para los fondos someros, se observa un ligero descenso de los % de cobertura, con un aumento del % ocupado por arenas en estos fondos desde el año 2016. En este sentido, se destaca que, aunque se ha producido un descenso en la cobertura de las principales formaciones en los fondos someros, parece que se ha estabilizado, a la espera de comprobar cómo evoluciona la dinámica litoral y los aportes de sedimentos a estos puntos procedentes, principalmente, del arrastre de las corrientes marinas y aportes de los ríos en la zona.



4.5. Hábitats de fondos blandos

4.5.1. Introducción

La fauna bentónica de fondos blandos es la comunidad de organismos que vive en estrecha relación con el fondo de los ecosistemas acuáticos en donde predominan materiales con una alta composición granulométrica en arenas a limos.

Comprende una gran diversidad de grupos taxonómicos, destacando los poliquetos, moluscos, crustáceos y equinodermos, cuyas capacidades de natación o ambulación son reducidas o ausentes y su periodo de vida les permite mostrar respuestas a las variaciones ambientales, haciéndolos útiles para evaluar posibles impactos que podrían generar las actividades de origen antropogénico.

Es por ello, que la fauna bentónica de fondos blandos es evaluada con interés y así poder comprender la reacción y efecto de la biota marina ante los probables indicios de contaminación o alteración ambiental (Gray, 1981; Levinton 1982).

Con este fin, se procedió al muestreo de los fondos blandos de los diez (10) sitios de muestreo, con la recolección de muestras de sedimentos y su posterior tamizado en tamiz de 500 µm para el estudio de la composición y abundancia de las especies, así como el estudio de su estructura teniendo en cuenta los principales índices estructurales. En definitiva, se pretende valorar el posible impacto de las operaciones de la mina y el puerto de Punta Rincón sobre estas comunidades y cómo evolucionan en el tiempo.

4.5.2. Composición y abundancia

Se muestrearon 10 estaciones, de las cuales se cuantificó un total de 9.767 individuos y se identificaron 3 Phyla, 5 Clases, 26 Órdenes y 33 Familias. Con 39 taxones registrados, el bentos está constituido mayoritariamente por Moluscos con 27 especies, en menor proporción los Poliquetos con 7 y Crustáceos y otros grupos con 5 taxones (se resumen en el **Cuadro 11**).



CUADRO 11. LISTA TAXONÓMICA DE LOS GRUPOS IDENTIFICADOS EN LA COMUNIDAD BENTÓNICA DE FONDOS BLANDOS

Phylum	Clase	Orden	Familia
Annelidos		Eunicida	Onuphidae
Moluscos	Polychaeta	Phyllodocida	Glyceridae
		Malelonida	Magelonidae
		Canalipalpata	Sabellidae
		Scolecida	Paraonidae
		Capitellida	Arenicolidae
	Bivalvos	Veneroida	Ungulinidae
	Gasteropodos	Cardiida	Tellinidae
		Venerida	Veneridae
		Mytiloida	Mytilidae
		Neogastropoda	Mangeliidae
			Cancellariidae
			Nassariidae
		Sorbeoconcha	Olivellidae
			Cerithiidae
		Caenogastropoda	Naticidae
			Marginellidae
		Archaeogastropoda	Epitoniidae
		Mesogastropoda	Littorinidae
		Heterobranquios	Pyramidellidae
		Trochida	Tegulidae
			Phasiacellidae
		Neotaenioglossa	Cerithiopsidae
		Ellobiida	Ellobioidea
		Lepetellida	Fissurellidae
		Pyramidellida	Pyramidellidae
		Littorinimorpha	Eulimidae
			Triviinae
			Littorinidae
			Cymatidae
		Cephalaspia	Retusidae
			Haminoeidae
	Scaphopoda	Gadilida	Gadilidae
Crustaceos	Malacostrata	Amphipoda	Gammaridae
		Isopodo	
3	5	26	33



Los resultados globales de la composición y abundancia (ind/m²) de las especies y grupos del bentos marino, tanto para las estaciones profundas (HB-R3 y HB-R33 en conjunto), como someras (HB-T1, HB-T2, HB-R12, HB-R15, HB-R18 y HB-CE) y los sitios HB-E10 y HB-E4 se resumen en el **Cuadro 12**.

CUADRO 12. DENSIDAD (ind/m ²) DEL BENTOS DE FONDOS BLANDOS											
TAXONES	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2	HB-CE	HB-E10	HB-E4	TOTAL
<i>Cerithium sp.</i>	15	15	74	74	148				74		400
<i>Epitonium sp.</i>			15	74							89
<i>Anachis sp.</i>			148	222	296				74	15	755
<i>Nassarius sp.</i>	74	148		74		15				15	326
<i>Diplodonta sp.</i>								15			15
<i>Natica sp.</i>	74	222	15		296	15			74	15	711
<i>Tellina sp.</i>	15	74	148	370	444		148		74	15	1288
<i>Olivella sp.</i>	148	74	74		148		15				459
<i>Rissoina sp.</i>	74		74	370	15				15		548
<i>Littorina sp.</i>			74	148	15					15	252
<i>Retusa sp.</i>	15	148	74	148	222					15	622
<i>Persicula sp.</i>		148	296	74				15			533
<i>Balcis sp.</i>				148	74			15		15	252
<i>Turbonilla sp.</i>			74	15							89
<i>Cerithiopsis sp.</i>				15	15					15	45
<i>Thiphora sp.</i>	15			15	74				15		119
<i>Tegula sp.</i>		15	74	15	148					15	267
<i>Mangelia sp.</i>			74		15					15	104
<i>Fissurella sp.</i>	15		15	148	148				15		341
<i>Hyalina sp.</i>	15		148		15			74			252
<i>Cymatium sp.</i>			15								15
<i>Tricolia sp.</i>					15						15
<i>Acmaea sp.</i>						74	15		74		163
<i>Emarginula sp.</i>		15	74	15							104
<i>Prunum sp.</i>		148	296	15	15						474
<i>Nerita sp.</i>		15		74					15		104
<i>Cittorina sp.</i>	15		15	74					15		119
<i>Onuphidae</i>										15	15
<i>Glycera sp.</i>		148			15	15	74			15	267
<i>Mangelona sp.</i>			74	15					15		104
<i>Cirratulidae</i>					74						74
<i>Capitellidae</i>			74		15	74					163
<i>Paraonidae</i>							15				15



CUADRO 12. DENSIDAD (ind/m ²) DEL BENTOS DE FONDOS BLANDOS											
TAXONES	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2	HB-CE	HB-E10	HB-E4	TOTAL
<i>Arenicola sp.</i>			15			148	74			15	252
<i>Goniadidae</i>			74		15	15					104
<i>Gammaridae</i>			15		148			74	15		252
<i>Isopodo</i>			15					15			30
<i>Anfipodo</i>				15			15				30
Total	475	1170	2044	2118	2370	356	356	208	475	195	9767

Del análisis de la densidad por localidades monitoreadas se puede señalar que los sitios HB-R18 y HB-R15 presentaron las mayores densidades, con 2.370 ind/m² y 2.118 ind/m² respectivamente, seguido de las estaciones HB-R12 con 2.044 ind/m² y HB-R33 con 1.170 ind/m². La de menor abundancia fue la estación HB-E4 con 195 ind/m². Los moluscos dominan claramente la comunidad en todos los sitios de monitoreo, seguido de los anélidos poliquetos.

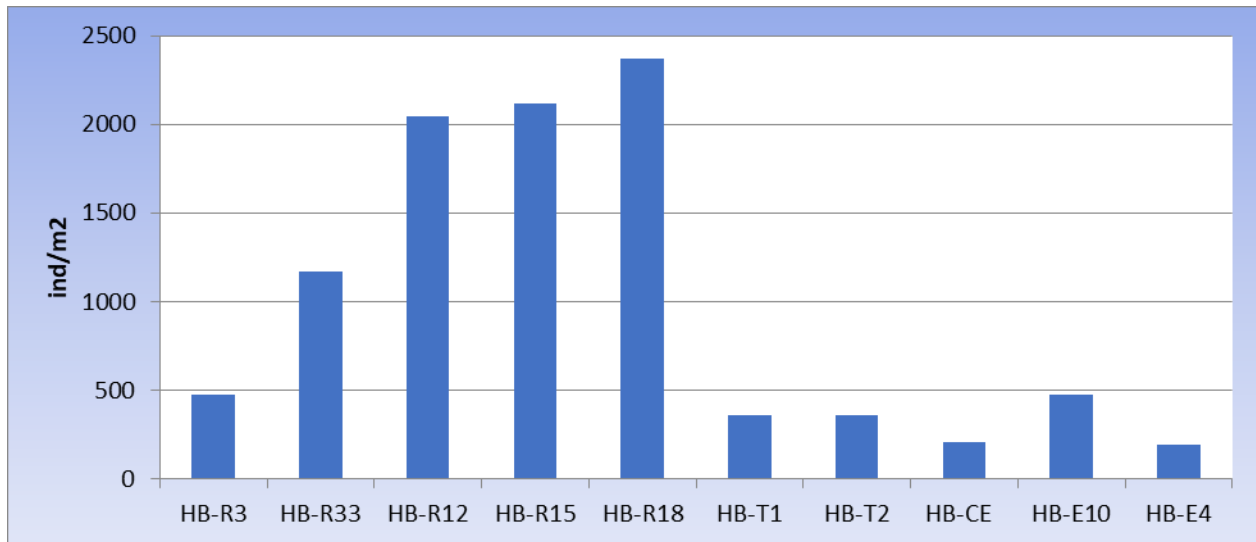


Gráfico 10. Distribución en los diferentes sitios de monitoreo de la densidad (ind/m²) del bentos de fondos blandos.



4.5.3. Estructura de la comunidad

Se muestran en el **Cuadro 13** los resultados de los índices estructurales del bentos marino.

CUADRO 13. ÍNDICES ESTRUCTURALES DE LA COMUNIDAD DEL BENTOS BLANDO										
INDICES	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2	HB-CE	HB-E10	HB-E4
Taxa_S	11	12	25	21	22	7	7	6	12	13
Individuals	475	1170	2044	2118	2370	356	356	208	475	195
Dominance_D	0,18	0,12	0,07	0,10	0,10	0,27	0,27	0,27	0,13	0,08
Simpson_1-D	0,82	0,88	0,93	0,90	0,90	0,73	0,73	0,73	0,87	0,92
Shannon_H	2,00	2,20	2,86	2,57	2,57	1,55	1,55	1,49	2,21	2,57
Evenness_e^H/S	0,67	0,75	0,70	0,62	0,59	0,67	0,67	0,74	0,76	1,00
Brillouin	1,94	2,17	2,83	2,55	2,54	1,51	1,51	1,44	2,16	2,43
Menhinick	0,50	0,35	0,55	0,46	0,45	0,37	0,37	0,42	0,55	0,93
Margalef	1,62	1,56	3,15	2,61	2,70	1,02	1,02	0,94	1,79	2,28
Equitability_J	0,83	0,88	0,89	0,85	0,83	0,80	0,80	0,83	0,89	1,00

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener se mantuvieron en el rango de 1,49-2,86 bits, con una excepción en la que se registraron pocas especies e individuos en HB-T1 y HB-T2 (1,55 bits). Las mayores diversidades se han dado en los sitios HB-R12 (2,86 bits), HB-R15 (2,57 bits), HB-R18 (2,57 bits) y HB-T4 (2,57 bits). Con el índice de diversidad de Margalef se obtienen resultados similares, aunque presenta un mayor valor en el HB-R12 (3,15 bits), al tener una densidad de especies significativamente más elevada que el resto.

La distribución espacial de la macroinfauna asociada a fondos blandos frente a Punta Rincón presenta comunidades típicas de hábitats caribeños y poco alteradas por las operaciones de la mina y el puerto, en donde las variables ambientales profundidad y localización geográfica no tienen mayor influencia sobre su estructura y distribución; es decir, no hay mayores diferencias en cuanto a la composición por taxa entre las estaciones profundas y someras.

Asimismo, no se presentaron especies características de las asociaciones y, en la mayor parte de los sitios, hay pocas especies abundantes, dominantes o frecuentes para el total de la comunidad.

Se han encontrado diferencias en las densidades totales registradas con respecto a los monitoreos de años anteriores, presentando una composición de especies similar, aunque con variaciones en la densidad y distribución de las mismas debidas a incertidumbres en las técnicas analíticas y a la propia variación estacional de las poblaciones.



4.5.4. Evolución temporal de la comunidad de fondos blandos

En las **Gráficas 11 a 13** se incluye la evolución temporal de los principales índices de la comunidad del bentos de fondos blandos (densidad, diversidad y riqueza).

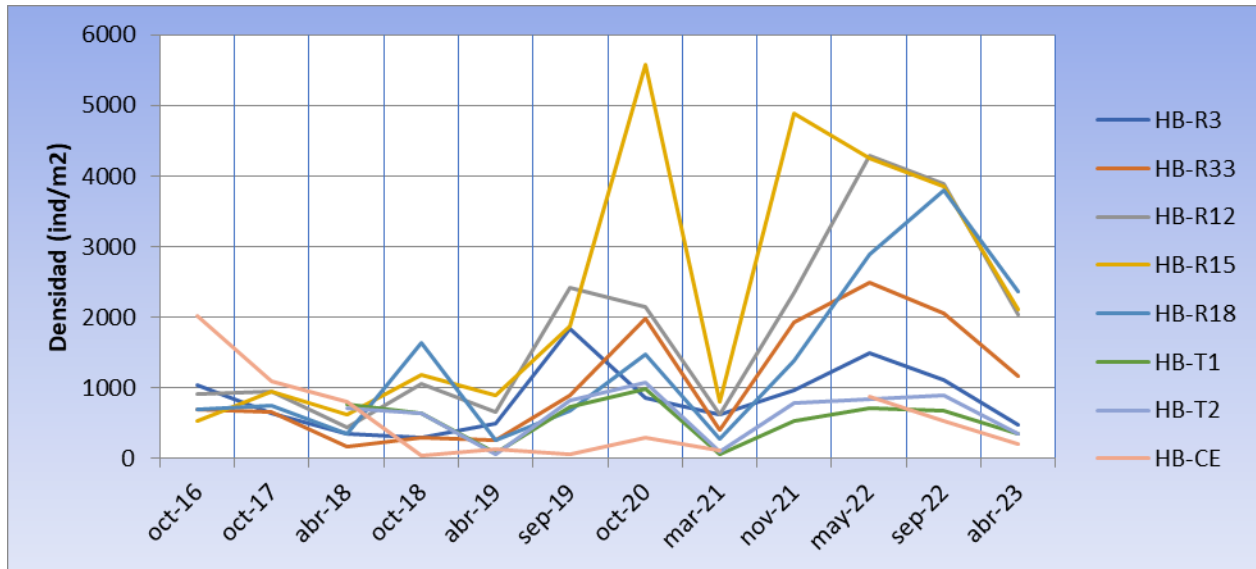


Gráfico 11. Evolución temporal de la densidad del bentos de fondos blandos. Periodo 2016-2023.

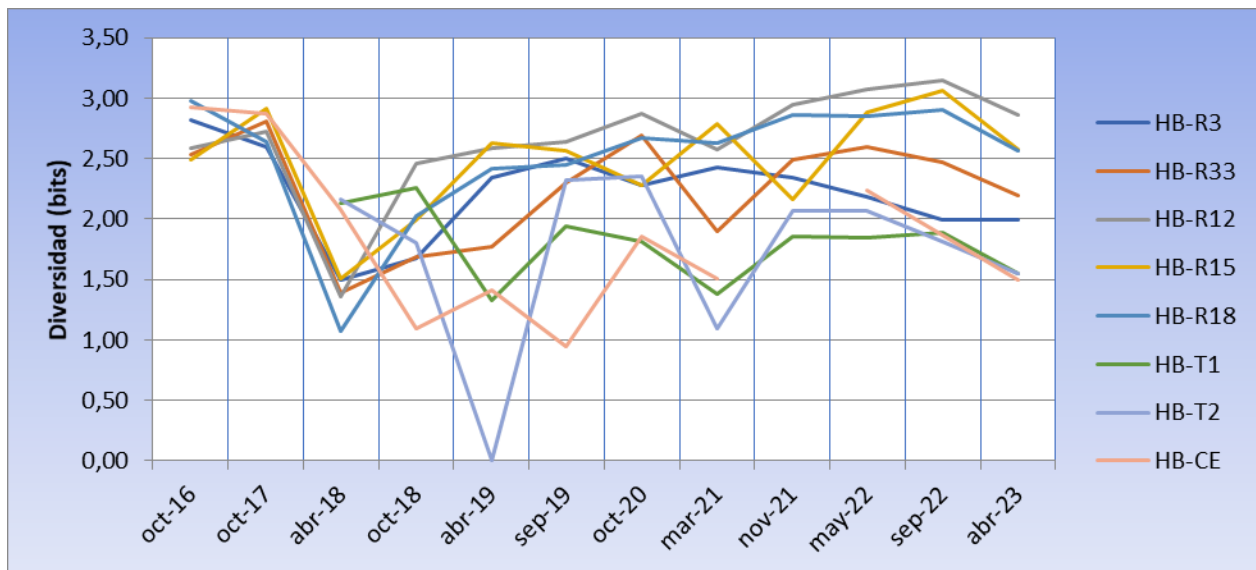


Gráfico 12. Evolución temporal de la diversidad Shannon del bentos de fondos blandos. Periodo 2016-2023.

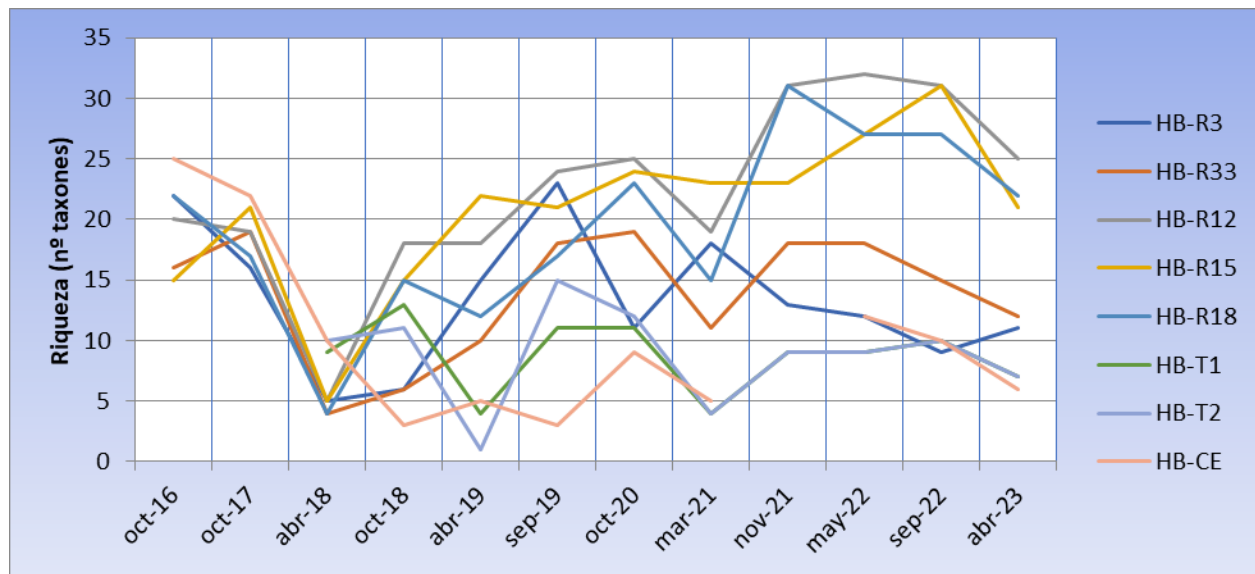


Gráfico 13. Evolución temporal de la riqueza de especies del bentos de fondos blandos. Periodo 2016-2023.

La evolución temporal de los valores de los tres índices se mantiene dentro de rangos más o menos continuos en los diferentes años, asociado principalmente a la propia variabilidad intrínseca de este tipo de comunidades biológicas.

Solo cabe destacar los valores registrados en el monitoreo de abril de 2018, en los que se observó un descenso de estos índices en prácticamente todos los sitios monitoreados, en especial para la riqueza de especies. Para este año no se observó ningún efecto significativo que pudiera afectar a estas comunidades, por lo que este cambio tendencial pudo estar debido a la incertidumbre asociada con su analítica.

En cualquier caso, no se observa un patrón de disminución de ninguno de estos índices en el amplio período estudiado, que ya abarca doce monitoreos. A partir de estos resultados, se puede destacar que las actividades que se realizan para la operación del puerto en Punta Rincón no han tenido efectos negativos sobre el bentos de fondos blandos.



4.6. Estudio de la comunidad de peces

4.6.1. Introducción

El presente monitoreo marino incluye los resultados del seguimiento de la ictiofauna presente en los fondos duros y arenosos en aguas someras y profundas cercanos a Punta Rincón. La evaluación continua del estado de la comunidad ictiológica en dichos fondos es de suma importancia, ya que el mismo puede reflejar el estado del ambiente circundante, permitiendo detectar cualquier variación en la composición ictiológica en éste área de estudio asociado a posibles efectos debidos a la operación del puerto y la mina.

El hábitat superficial de fondo duro (al este y oeste) de Punta Rincón inicia en aguas intermareales. Los hábitats de fondo duro al oeste presentan un área de grandes cantos rodados meteorizados que parecen haberse originado del promontorio de Punta Rincón. Las grandes rocas redondeadas y cantos rodados se extienden desde el borde de la playa hasta una profundidad aproximada de 8 m siguiendo un patrón triangular. Este hábitat de fondo duro al este es un área de afloramientos de lecho rocoso combinados con cantos rodados meteorizados. Esta característica se encuentra en aguas superficiales (5 a 8 m) al este de las instalaciones del puerto y cubre un área limitada. Entremezclado con esta formación, aparecen manchas de arenales costeros, muy característicos de la costa del Caribe panameño, que representan un hábitat muy importante para las comunidades de peces e invertebrados.

De esta forma, el estudio y censo de las comunidades de peces, tanto en los hábitats de fondos profundos, como de fondos someros más próximos a la costa, se ha centrado en los siguientes objetivos:

- Descripción de la composición cuantitativa y cualitativa de las especies de peces
- Descripción estructural de las comunidades. Diversidad biológica
- Estudio específico del pez león (*Pterois volitans*)
- Estudio específico del pez tamboril (*Canthigaster rostrata*)

4.6.2. Composición y abundancia de especies

FONDOS PROFUNDOS

Los fondos profundos (duros y blandos) se ubican aproximadamente a 1 km de la costa frente al área de construcción del puerto, entre 80-96 pies de profundidad y están conformados por fondos duros que se levantan sobre un fondo arenoso que los rodea, hasta unos 15-20 pies. Estas lajas se encuentran tapizadas principalmente por esponjas y algunas especies de algas macroscópicas marinas. La visibilidad de sus aguas durante los buceos fue de 30 a 40 pies.

En el **Cuadro 14** se recoge el censo con la estima de abundancia de las especies de peces registradas en los dos sitios de muestreo (HB-R3 y HB-R33) representativos de fondos profundos.



CUADRO 14. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10³m²) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE PECES EN FONDOS PROFUNDOS

Familia (nombre común)	Especie	HB-R3	HB-R33
Acanthuridae (cirujanos)	<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	20	20
Carangidae (jureles)	<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	10	5
	<i>Caranx latus</i> Agassiz, 1831	10	20
Scorpididae (peces escorpión)	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)	10	20
Haemulidae (roncador)	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
	<i>Haemulon aurolineatum</i> Cuvier, 1830	0	5
Kyphosidae (chopas)	<i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)	10	10
Labridae (lábridos)	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	10	5
	<i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791)	5	5
	<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
	<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791)	0	5
Lutjanidae (pargos)	<i>Lutjanus cyanopterus</i> (Cuvier, 1828)	10	10
	<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)	5	0
	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	5	5
Mullidae (salmonete)	<i>Pseudupeneus plumieri</i> (Bloch, 1786)	5	0
Pomacanthidae (angeles)	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	10	10
Pomacentridae (dama)	<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	5	0
	<i>Chromis cyanea</i> (Poey, 1860)	5	5
	<i>Stegastes fuscus</i> (Cuvier, 1830)	5	5
Scaridae (loros)	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	5	0
Serranidae (mero)	<i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	5	5
Sparidae (cabezón)	<i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)	5	0
Sphyraenidae (barracuda)	<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards in Catesby, 1771)	0	5
Tetraodontidae (tamboril)	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)	5	10
TOTAL		150	160

Se han censado un total de 310 individuos/10³ m² entre HB-R3 y HB-R33 de los principales grupos de peces. La especie más abundante fue *Acanthurus bahianus* (12-13%), seguido de un amplio grupo de especies que aparecen de forma común en este tipo de fondos duros. Destacan las especies *Caranx latus* (6-12%), *Pterois volitans* (6-12%), *Lutjanus cyanopterus* (6-6%) y *Pomacanthus paru* (6-6%). En este monitoreo se constató la presencia del tamboril (*Canthigaster rostrata*) con densidades estimadas de 3-6%, lo que puede indicar un principio de agregación de individuos y la posibilidad de producirse un bloom poblacional para esta especie a corto y medio plazo.

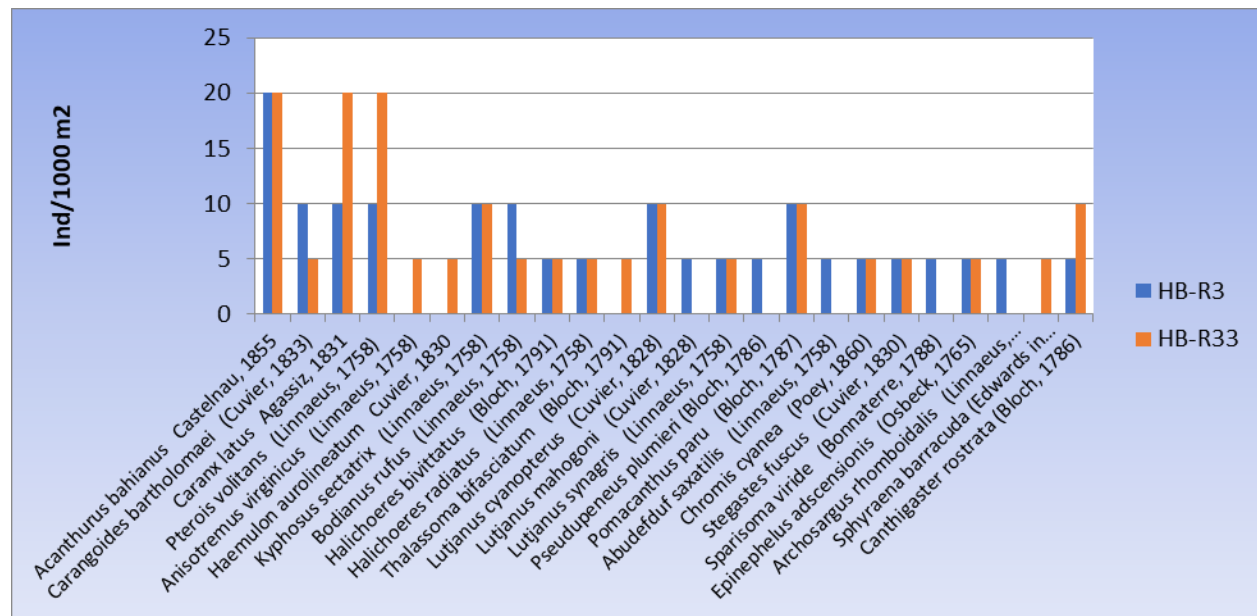


Gráfico 14. Distribución porcentual de las especies de peces de seguimiento en los fondos profundos.

FONDOS SOMEROS

Los fondos someros en Punta Rincón presentan profundidades comprendidas entre los 20 a 30 pies aproximadamente y están conformados por arena y piedras de tamaño medio a rocas grandes, tapizadas por diversas formas bentónicas de macroalgas, esponjas, etc.

Este lecho marino está influenciado directamente por el oleaje (debido a su poca profundidad); que se refleja sobre la arena. Adicional a esto, se observa la presencia de vegetación continental sumergida, muy característico en áreas aledañas a los ríos en el Caribe de Panamá (Garrity & Levings, 1993).

Esta condición puede ser originada por la descarga del río Caimito, ubicado al Norte, debido al patrón dominante de corrientes marinas en el área (Norte-Sur), aportando restos de material vegetal y sedimentos telúricos hacia estos fondos.

En el **Cuadro 15** se incluye la composición y abundancia de las principales especies de peces sobre las que se centra el monitoreo de seguimiento en HB-R12, HB-R15, HB-R18, HB-T1 y HB-T2.

En el **Gráfico 15** la representación gráfica de las diferentes densidades registradas en cada sitio de monitoreo.



CUADRO 15. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10³ m²) DE PECES EN FONDOS SOMEROS

FAMILIAS (N. Común)	Especies	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2
Acanthuridae (cirujanos)	<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	10	10	5	0	0
	<i>Acanthurus coeruleus</i> Bloch & Schneider, 1801	10	5	0	0	0
Carangidae (jureles)	<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	5	10	5	0	0
	<i>Caranx crysos</i> (Mitchill, 1815)	10	5	0	0	0
Scorpionidae (peces escorpión)	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)	15	10	5	0	0
Gerreidae (mojarra)	<i>Eucinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1863)	5	0	5	0	0
	<i>Gerres cinereus</i> (Walbaum, 1792)	5	10	5	0	0
Haemulidae (roncador)	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	5	0	10	0	0
	<i>Haemulon carbonarium</i> (Poey, 1860)	5	0	5	0	0
	<i>Haemulon flavolineatum</i> (Desmarest, 1823)	5	5	5	0	0
	<i>Haemulon sciurus</i> (Shaw, 1803)	5	0	5	0	0
Holocentridae (ardillas)	<i>Holocentrus rufus</i> (Walbaum, 1792)	0	5	5	0	0
Kyphosidae (chopas)	<i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)	5	10	5	0	0
Labridae (lábridos)	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5	0	0	1
	<i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791)	0	10	0	0	0
	<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5	0	0	0
Lutjanidae (pargos)	<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828)	5	5	0	0	0
	<i>Lutjanus apodus</i> (Walbaum, 1792)	5	10	0	0	0
	<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)	5	5	0	0	0
	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	0	5	0	0	0
Pomacanthidae (ángeles)	<i>Holacanthus tricolor</i> (Bloch, 1795)	0	5	0	0	0
	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	0	5	5	0	0
Pomacentridae (dama)	<i>Chromis insolata</i> (Cuvier, 1830)	5	5	5	0	0
	<i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830)	10	5	5	0	0
	<i>Stegastes diencaeus</i> (Jordan & Rutter, 1897)	0	0	0	0	0
	<i>Stegastes partitus</i> (Poey, 1868)	5	5	5	0	0
	<i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)	0	5	5	0	0
Scaridae (loros)	<i>Scarus guacamaia</i> (Cuvier, 1829)	0	5	0	0	0
	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	0	5	0	0	0
Serranidae (mero)	<i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	10	5	0	0	0
Sparidae (cabezón)	<i>Calamus penna</i> (Valenciennes, 1830)	0	0	10	0	0



CUADRO 15. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10³ m²) DE PECES EN FONDOS SOMEROS

FAMILIAS (N. Común)	Especies	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-T1	HB-T2
Sphyraenidae (barracuda)	<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards in Catesby, 1771)	0	5	5	0	0
Tetraodontidae (tamboril)	<i>Diodon hystrix</i> (Linnaeus, 1758)	5	5	0	0	0
	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)	5	5	10	0	0
TOTAL		140	175	110	0	1

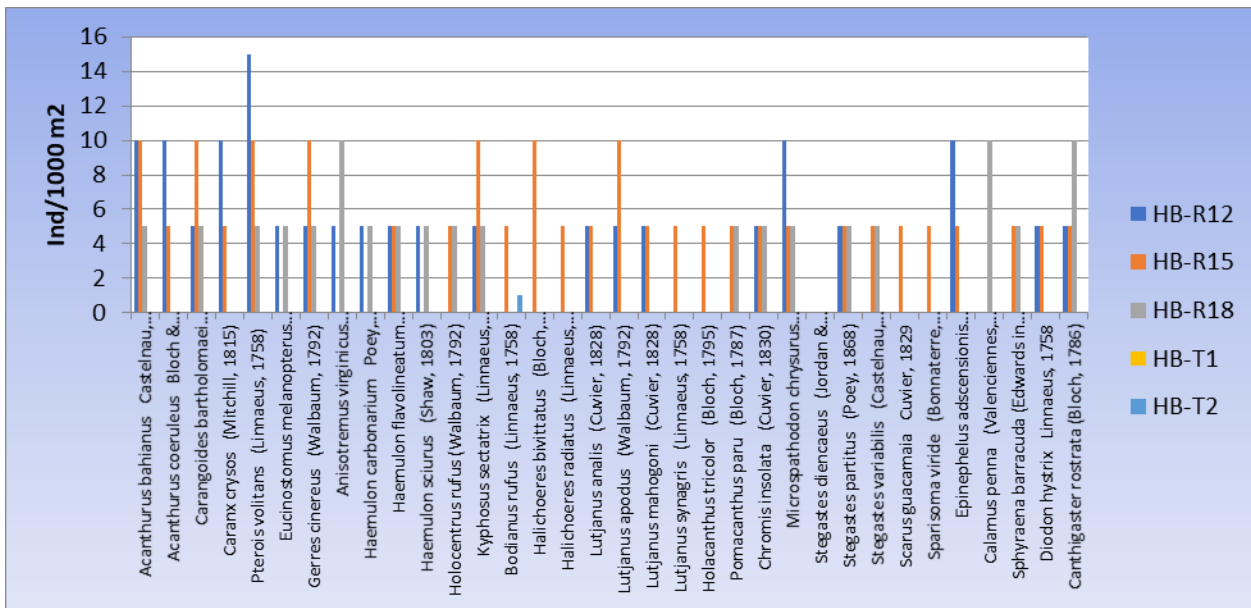


Gráfico 15. Distribución porcentual de las principales especies de peces de seguimiento en fondos someros.

En los monitoreos de fondos someros se han registrado un total de 426 individuos/1000 m². El número de taxones registrados fue similar en los sitios HB-R12, HB-R15 y HB-R18 (25, 27 y 24).

Las especies más abundantes en HB-R12-HB-R15-HB-R18 fueron *Pterois volitans* (15-10-5%) *Caranx crysos* (10-5-0%), *Acanthurus bahianus* (7-5-4%), *Carangoides bartholomaei* (3-5-4%) y *Kyphosus sectatrix* (3-5-4%), con claras diferencias con respecto a la zona profunda.

Para HB-T2 se registró solo un individuo de *Bodianus rufus*, ya que estos fondos no reúnen características funcionales para sustentar poblaciones de peces, debido a la fuerte corriente y ausencia de refugios y nichos tróficos.

Canthigaster rostrata se ha registrado en los tres sitios someros, con densidades 3-2-9% y, al igual que lo comentado para los fondos duros, puede ser indicador de una posible concentración de ejemplares, previo a un Bloom poblacional típico de esta especie en aguas del Caribe.



Análisis estructural de las comunidades de peces

Para medir la diversidad de las especies de peces en los sitios muestreados, se utilizó el Índice de diversidad de Shannon-Weaver, así como otros índices que estiman la estructura poblacional. El **Cuadro 16** muestra los valores obtenidos para los diferentes sitios.

CUADRO 16. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS COMUNIDADES DE PECES					
INDICES	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18
Taxa_S	20	19	21	28	19
Individuals	150	160	140	175	110
Dominance_D	0,06	0,07	0,05	0,03	0,05
Simpson_1-D	0,94	0,93	0,95	0,97	0,95
Shannon_H	2,96	2,83	3,04	3,36	2,98
Evenness_e^H/S	0,96	0,89	0,99	1,02	1,04
Brillouin	2,66	2,57	2,71	3,01	2,62
Menhinick	1,63	1,50	1,78	2,12	1,81
Margalef	3,79	3,55	4,05	5,23	3,83
Equitability_J	0,99	0,96	1,00	1,01	1,01

La diversidad de especies se ha mantenido muy similar entre los diferentes sitios de monitoreo (2,83-3,36), aunque con mayores valores en los sitios someros (HB-R12 y HB-R15). En estos sitios someros se han obtenido un mayor número de taxones de especies de seguimiento, especialmente en HB-R15.

La riqueza (nº especies e individuos), así como la cantidad de individuos e incremento del tamaño de las especies observadas, coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe (BOHLKE, et al 1993, BUSSING, 1987 y BUSSING, W.A. 1998), en las cuales la mayor cantidad y diversidad de individuos ícticos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies.

Dentro de las causas de la pérdida de diversidad figuran la destrucción del hábitat, la sobreexplotación, la contaminación, el cambio climático, y las especies invasoras. De estos índices estructurales se puede interferir que la comunidad de peces en la zona de Punta Rincón presenta una alta diversidad de especies, con la dominancia de pocas especies y una densidad moderada, mayor en las zonas someras. El resto de índices estructurales se mantienen en rangos similares y complementan lo observado para la diversidad y riqueza de especies.

Para los sitios de monitoreo HB-T1 y HB-T2 no se han incluido el resultado de los índices estructurales ya que, en HB-T1 no se registró ninguna especie y solo en HB-T2 se registró una única especie. Ya se comentó que estos sitios no reúnen condiciones de hábitats y no cuentan con recursos tróficos para mantener una población estable de peces.



Evolución temporal de las comunidades de peces

En los **Gráficos 16 al 18** se muestra la evolución temporal de los principales índices de la comunidad de peces (densidad, diversidad y riqueza).

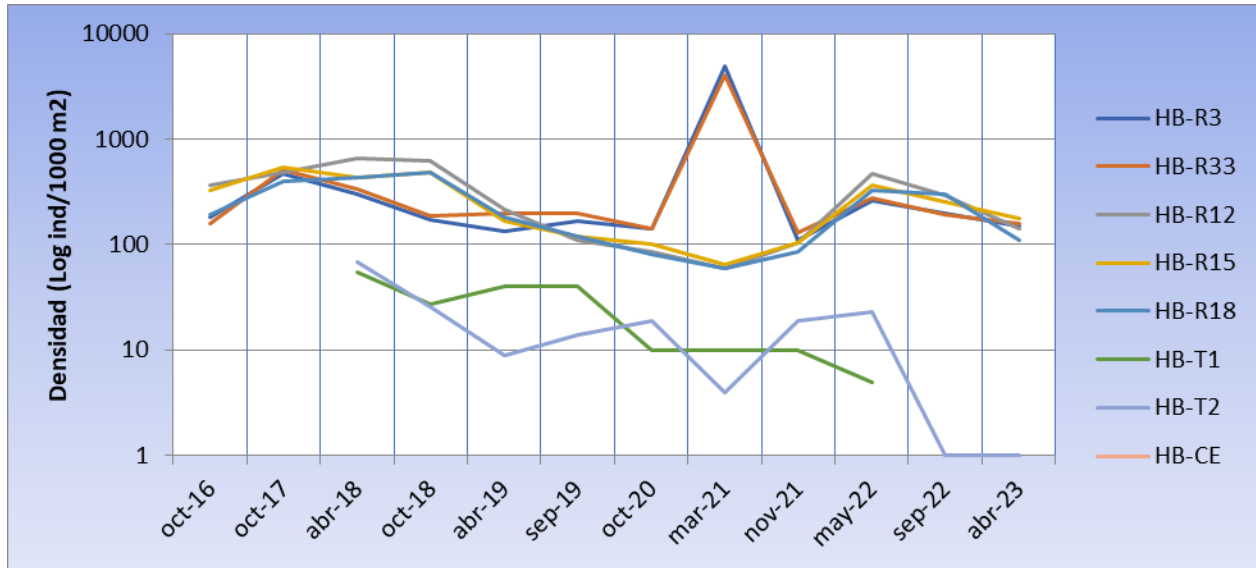


Gráfico 16. Evolución temporal de la densidad de la comunidad de peces. Periodo 2016-2023.

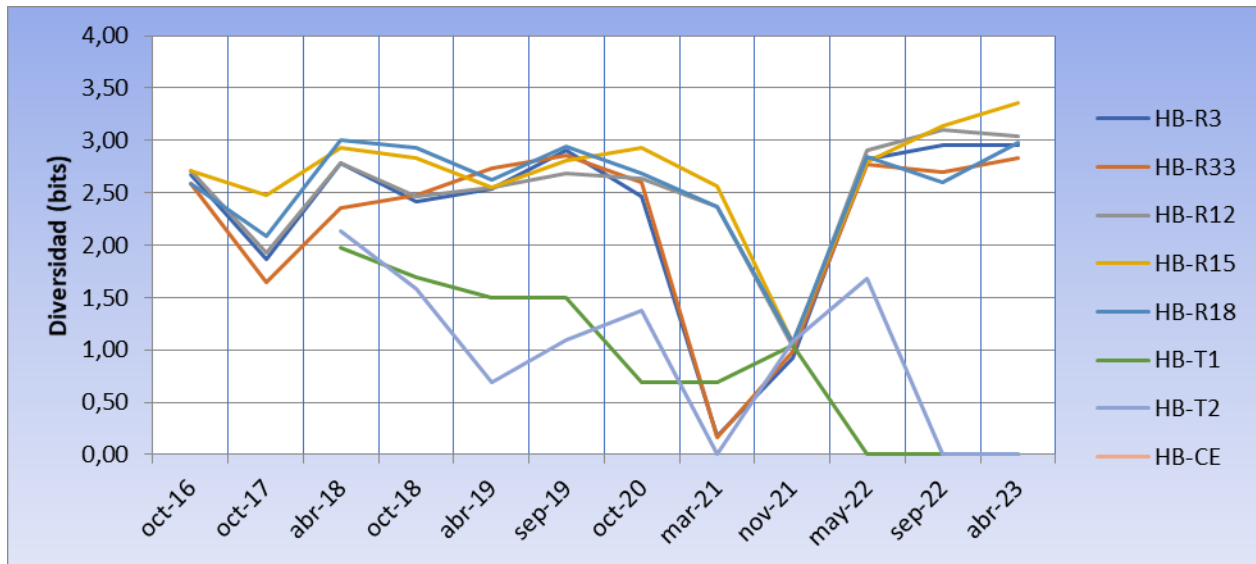


Gráfico 17. Evolución temporal de la diversidad de la comunidad de peces. Periodo 2016-2023.

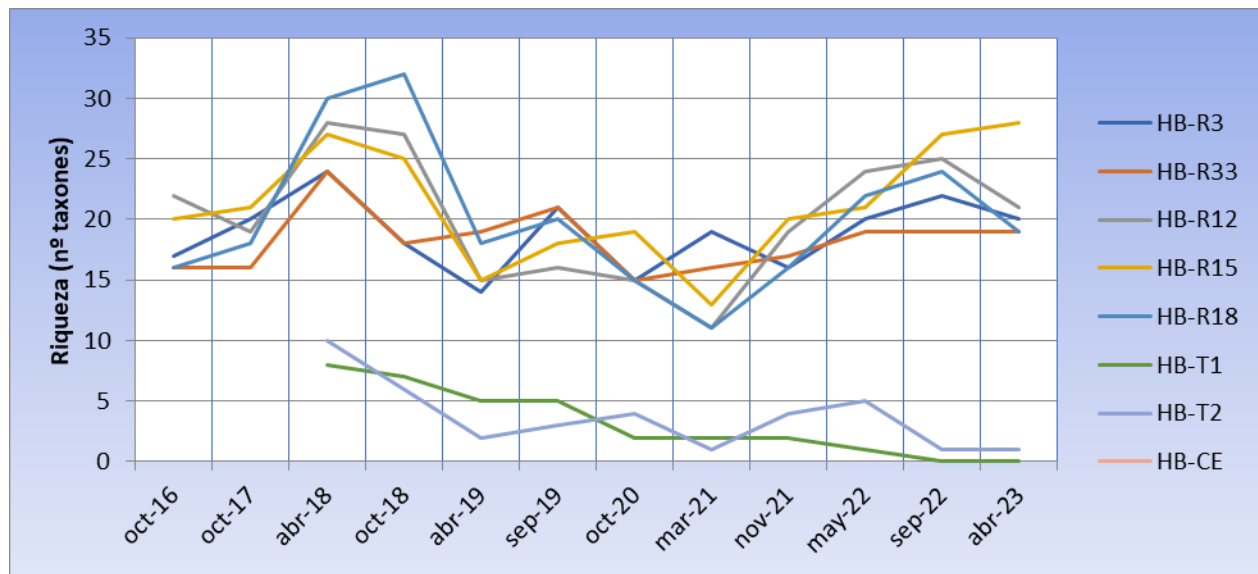


Gráfico 18. Evolución temporal de la riqueza de la comunidad de peces. Periodo 2016-2023.

Los valores de densidad de peces se han mantenido a lo largo del tiempo en todos los sitios de monitoreo dentro de rangos estables. La diversidad tuvo un descenso importante en marzo de 2021, debido a que el monitoreo coincidió con un Bloom del tamborín narizón, que hizo descender bruscamente este indicador. Por su parte, la riqueza de especies también se ha mantenido en rangos estables, con pequeñas variaciones propias de las comunidades de peces.

A partir de los resultados obtenidos a lo largo del tiempo, se puede inferir que las comunidades de peces se mantienen estables sin que se hayan observado por el momento efectos debidos a factores externos (sobrepesca, contaminación, alteración de hábitats, etc).

Por lo tanto, se puede inferir que las condiciones actuales de los fondos profundos y someros son favorables para la comunidad ictiológica presente en estos sitios –con excepción de HB-T1 y HB-T2-, donde estas comunidades juegan un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. No se han observado efectos debido a las actividades de operación de la mina o del puerto.



Estudio de las poblaciones de pez león (*Pterois volitans*)

En el **Cuadro 17** y **Gráfico 19** se resumen, para los años 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y presente 2023 las observaciones de pez león (*Pterois volitans*) en ind/10³ m² para los transeptos evaluados en el fondo somero (HB-R12, HB-R15 y HB-R18) y fondo profundo (HB-R3 y HB-R33) en donde se realiza su seguimiento.

CUADRO 17. DENSIDADES (IND/m ²) DE PEZ LEÓN EN LOS DIFERENTES AÑOS DE MONITOREO					
AÑO	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18
2016	20	10	5	25	20
2017	15	20	10	6	5
2018-1S	20	20	10	25	5
2018-2S	10	15	10	20	5
2019-1S	10	10	5	0	0
2019-2S	5	5	5	0	5
2020-2S	5	5	10	5	5
2021-1S	5	5	5	5	5
2021-2S	5	5	10	5	5
2022-1S	15	15	15	25	5
2022-2S	20	20	15	5	5
2023-1S	10	20	15	10	5

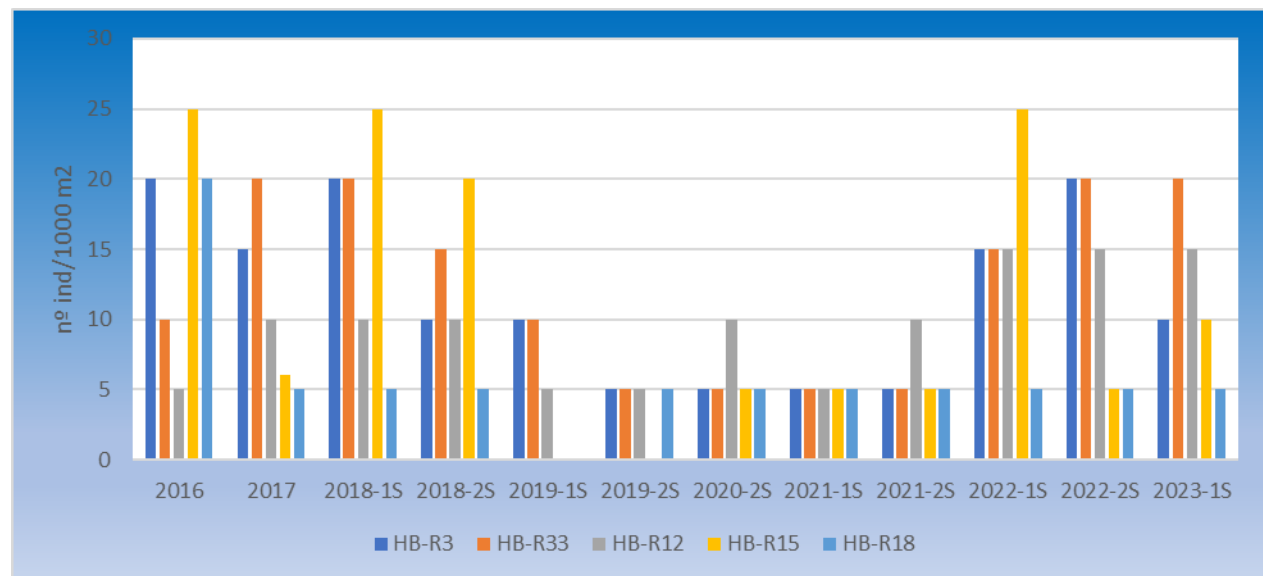


Gráfico 19. Evolución de los efectivos de pez león (*Pterois volitans*) en los diferentes sitios y años de monitoreo.

La abundancia relativa de esta especie en el presente monitoreo fue de 10-2% para el fondo somero y de 15-10-5% para el fondo profundo. Se observa que la especie ha registrado porcentajes y densidades muy variables, con un mayor número entre los años 2016 y 2018 y el año 2023 y, con menor densidad en los años 2019-2021. Aparentemente, la población ha llegado a su estabilidad poblacional en la zona.



Estudio de las poblaciones de tamborín narizón (*Canthigaster rostrata*)

En el **Cuadro 18** y **Gráfico 20** se resumen, para el período 2016-2023 las observaciones de tamborín narizón (*Canthigaster rostrata*) en ind/10³ m² para los transeptos evaluados en el fondo somero (HB-R12, HB-R15 y HB-R18) y fondo profundo (HB-R3 y HB-R33) en donde se realiza su seguimiento.

CUADRO 18. DENSIDADES (IND/m ²) DE TAMBORIL EN LOS DIFERENTES AÑOS DE MONITOREO					
AÑO	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18
2016	15	5	10	5	5
2017	25	30	25	15	15
2018-1S	20	40	25	20	15
2018-2S	25	40	25	20	15
2019-1S	10	5	5	0	0
2019-2S	15	10	5	0	5
2020-2S	16000	18400	12000	16800	14400
2021-1S	4800	4000	10	5	10
2021-2S	15500	16600	13500	14200	11200
2022-1S	0	0	0	0	5
2022-2S	0	0	0	0	0
2023-1S	5	10	5	5	10

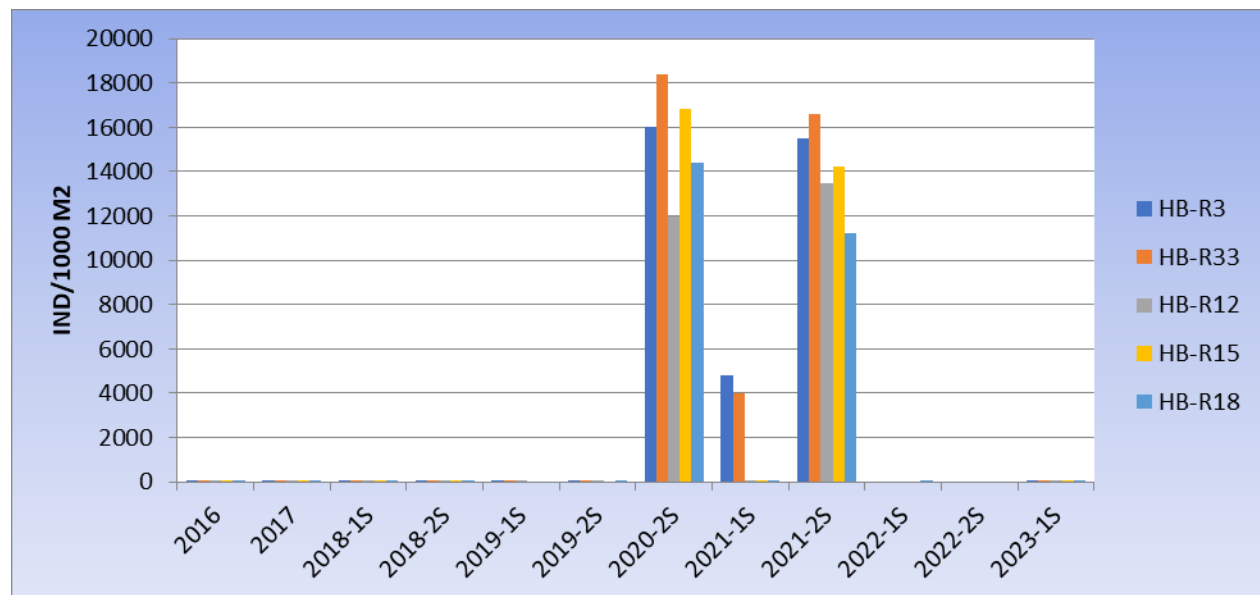


Gráfico 20. Evolución de los efectivos de tamborín narizón (*Canthigaster rostrata*) en los diferentes sitios y años de monitoreo.

Durante este monitoreo se han registrado individuos de tamboril (5-10%) que pueden sospechar la aparición a corto y medio plazo de un bloom poblacional. Se destaca que los resultados en el gráfico solo expresan los obtenidos en los monitoreos marino-costeros, no recogiendo otros *blooms* que ha tenido la especie durante estos años.



5. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS

El objetivo de este estudio específico es realizar la caracterización de las comunidades biológicas de fondos duros y peces, así como la toma de muestras de agua en el rompeolas que se ha construido para el puerto de Punta Rincón.

El monitoreo y seguimiento de la evolución temporal en los procesos de colonización de las comunidades biológicas de las rocas depositadas para el rompeolas, permitirá evaluar la utilidad de estos espacios como hábitats artificiales. De ser así, estos nuevos hábitats contribuirán a una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas en la zona de afección del puerto.

5.1. Estudio de fondos duros

Los resultados de cobertura (%) de las diferentes formaciones biológicas que colonizan el rompeolas se recoge en el **Cuadro 19**.

CUADRO 19. COBERTURA (%) DE LOS GRUPOS BIOLÓGICOS EN EL ROMPEOLAS							
GRUPOS BIOLÓGICOS	RO1	RO2	RO3	RO7	RO4	RO5	RO6
Corales	0,3	2,0	9,0	6,0	0,5	0.00	0.00
Gorgóneas	0.00	0.00	0,6	0.00	0.00	0.00	0.00
Esponjas	0.00	0.00	1,5	0.00	0.00	0.00	0.00
Zoántidos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Macroalgas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Otras formas de vida	0,5	1,0	2,0	3,0	0.00	0.00	0.00
Coral con algas muertas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Algas coralinas	0,5	1,0	1,0	3,5	0.00	0.00	0.00
Corales enfermos	0.00	0.00	0.00	0,0	0.00	0.00	0.00
Piedras	97,4	92,7	84,0	85,4	99,5	100,0	100,0
Desconocidos	1,3	3,3	1,9	2,1	0.00	0.00	0.00

Las variaciones son ligeramente positivas, con un aumento paulatino de las coberturas de las principales formaciones (corales, esponjas, etc) del orden de 0,05-0,1% cada año.

Corales

El sitio de muestreo RO3 presenta la mayor cobertura de corales con 9,0%, similar a la anterior campaña, seguido del RO7 con un 6,0% (aumentó ligeramente con respecto a la anterior campaña) y el RO2 con un 2,0%, los tres pertenecientes a los sitios externos y más expuestos a mar abierto. En los sitios internos -RO4, RO5 y RO6- se han registrado colonias de coral, aunque con formaciones muy iniciales en primeras fases de colonización y de pequeño tamaño. Los corales formados aparecen solo en la parte más externa del rompeolas, y están representados por colonias que deben adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Están mayoritariamente representados por especies pioneras, como *Agaricia agaricites* y el hidrocoral llamado coral fuego *Millepora complanata*, este último el más representativo de este tipo de fondos rocosos.



Algas

No se registraron algas o formas coralinas presentes en este tipo de estructuras en ninguno de los transeptos.

Esponjas

Las esponjas tampoco fueron las más prosperas en cuanto a crecimiento y colonización de esta estructura; solo el transepto RO3 presento una cobertura de 1,5% de la especie *Cliona sp.*, el resto no presentó cobertura alguna.

Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos como cangrejos, moluscos incrustantes en las rocas como ostiones crustáceos, *Balaunus sp* con muy bajas proporciones.

En el **Gráfico 21** se ha representado la cobertura (%) de cada formación biológica en los diferentes transectos en el rompeolas. Se destaca una mayor cobertura de arena que está cubriendo y colmatando la zona de rompeolas en la parte externa, principalmente en RO1, RO2 y RO3.

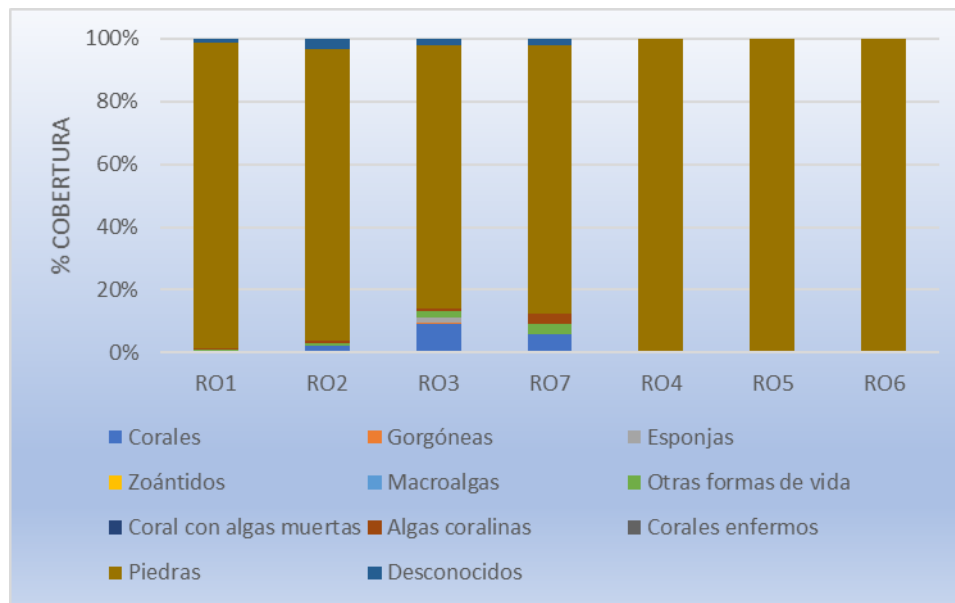


Gráfico 21. Cobertura (%) de las formaciones biológicas en los transectos del rompeolas.



5.2. Estudio de la comunidad de peces

Para el estudio de las comunidades de peces indicadores (composición, abundancia y diversidad de especies de peces) en el rompeolas, se siguieron dos tipos de transeptos o secciones principales, uno en la zona externa entre los sitios (RO1, RO2, RO3 y RO7) y otro en la parte interna entre los sitios (RO4, RO5 y RO6). Los resultados obtenidos de composición y densidad estimada (ind/10³ m²) de peces en estos transeptos se resumen en el **Cuadro 20**.

CUADRO 20. DENSIDAD DE PECES EN EL ROMPEOLAS			
FAMILIA	ESPECIE	Externo	Interno
Acanthuridae (cirujanos)	<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	5	20
	<i>Acanthurus chirurgus</i> (Bloch, 1787)	5	10
Carangidae (jureles)	<i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)	5	15
Scorpionidae (peces escorpión)	<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)	0	15
Haemulidae (roncador)	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)	0	10
Kyphosidae (chopas)	<i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
Labridae (labridos)	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)	0	10
	<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
	<i>Halichoeres chierchiae</i>	0	10
	<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791)	5	5
Lutjanidae (pargos)	<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)	0	20
	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
Pomacanthidae (angeles)	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	0	20
Pomacentridae (dama)	<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	0	5
	<i>Chromis cyanea</i> (Poey, 1860)	0	20
	<i>Stegastes diencaeus</i> (Jordan & Rutter, 1897)	0	10
	<i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)	0	20
	<i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830)	0	15
Scaridae (loros)	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	5	10
Sparidae (cabezón)	<i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)	5	10
Sphyraenidae (Barracuda)	<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards in Casteby, 1171)	0	5
Tetraodontidae (tamboril)	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)	0	20
Dasyatidae	<i>Hypanus americanus</i> (Hildebrand & Schroeder, 1928)	5	30



De esta forma, para el rompeolas se censó un total de 330 individuos, pertenecientes a 19 especies de peces indicadoras. De estas especies, 7 fueron observadas asociadas al transepto externo del rompeolas y 23 especies asociadas en la parte interna del mismo. En el **Gráfico 22** se representa la distribución porcentual de las especies, tanto en la parte externa, como interna del rompe olas.

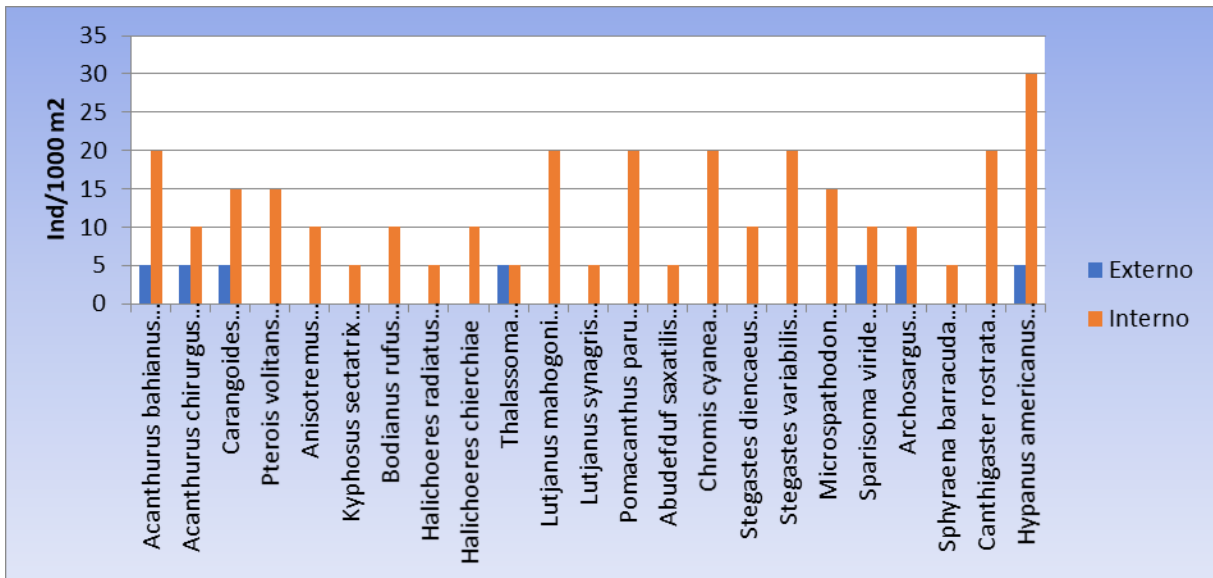


Gráfico 22. Distribución porcentual de las principales especies de peces en los transeptos externos e internos del rompeolas.

Destacan las especies *Acanthurus bahianus*, *Carangoides bartholomei*, *Kyphosus sectatrix* (Linnaeus, 1758), *Stegastes variabilis* (Castelnau, 1855), *Sparisoma viride* (Bonnaterre, 1788) y *Archosargus rhomboidalis* (Linnaeus, 1758), todas con porcentajes mayores en la zona interna del rompeolas.

Para medir la diversidad de las especies de peces en los sitios muestreados, se utilizó principalmente el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver, así como otros índices que dan una idea de la estructura de la comunidad. El índice Shannon-Weaver expresa la abundancia relativa con que cada especie contribuye en la comunidad. En el **Cuadro 21** se resumen estos índices.

CUADRO 21. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS COMUNIDADES DE PECES EN EL ROMPEOLAS						
ESTACIONES	TRANSEPTO	Diversidad Shannon (H')	Dominancia (D)	Simpson (1-D)	Margalef	Equitabilidad (J)
Externas	RO1, RO2, RO3 y RO7	2,03	0,11	0,88	1,68	1,04
Internas	RO4, RO5 y RO6	3,03	0,05	0,94	3,86	0,96



Durante este monitoreo se ha observado una clara diferencia entre la zona externa e interna del rompeolas. Se destaca la mayor riqueza, densidad y diversidad de especies en la parte interna respecto a la externa, indicativo de una comunidad íctica mejor estructurada y más diversa en los transeptos del interior del rompeolas y no expuestos a mar abierto. La comunidad de peces en el interior del rompeolas se puede considerar de gran valor ambiental, con especies y densidades propias de aguas litorales del Caribe.

Los peces registrados muestran una diversidad y composición similar en todos los sitios de estudio, por lo que se puede inferir que las condiciones actuales de los fondos profundos, someros y rompeolas favorecen el establecimiento de la comunidad ictiológica presente en estos sitios, donde desempeñan un rol ecológico fundamental en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. Adicional a esto, de las especies observadas, se puede indicar que coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe, donde la mayor cantidad y diversidad de individuos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies.

Se destaca el aporte significativo -desde el punto de vista ecológico- que representa el rompeolas, al permitir el establecimiento y hábitat agregador de las diferentes especies de peces que utilizan este sitio como zonas de refugio, alimentación y reproducción como parte de su ciclo de vida. Esta colonización está ligada a la que se ha observado en las comunidades del bentos duro en las piedras del rompeolas, con una clara colonización en las zonas expuestas y más superficiales.



La parte interna del rompeolas está teniendo una fuerte colonización por diferentes grupos de peces que aumentan su biodiversidad.

6. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE

Durante el monitoreo del mes de abril de 2023, se ha completado un estudio del ictioplancton que entra en el intake de la central térmica de Punta Rincón, situada en el puerto interior. El estudio se ha centrado en la composición y abundancia de huevos y larvas de peces. Desde el punto de vista metodológico, con una bomba sumergible se bombeó durante dos muestreos (IN-1 e IN-2) durante 10 min un volumen conocido de agua a través de una red tipo bongo de 500 micras.



Realización de muestreos con bomba en el intake para el estudio del ictioplancton.

Para el cálculo del volumen filtrado, se empleó la siguiente fórmula:

$$VF (m^3) = \text{Caudal bomba (m}^3/\text{s)} \times \text{tiempo bombeo (s)}$$

Los resultados obtenidos se incluyen en el **Cuadro 22**.

CUADRO 22. DENSIDAD DE HUEVOS Y LARVAS DE PEHB-CES EN EL INTAKE			
CÓDIGO MUESTRA	HUEVOS Ind/m ³	LARVAS Ind/m ³	COMPOSICIÓN DE PRINCIPALES ESPECIES EN LAS LARVAS
IN-1	40	18	<i>Acanthurus bahianus</i> (27%), <i>Carangoides bartolomaei</i> (16%), <i>Lutjanus synagris</i> y <i>Anisotremus virginicus</i> (<10%).
IN-2	45	17	<i>Acanthurus bahianus</i> (29%), <i>Carangoides bartolomaei</i> (11%), <i>Anisotremus virginicus</i> , <i>Acanthurus chirurgus</i> y <i>Pomacanthus paru</i> (<10%).



En el **Gráfico 23** se incluye la representación porcentual de las diferentes especies del ictioplancton (larvas) registradas en cada muestra.

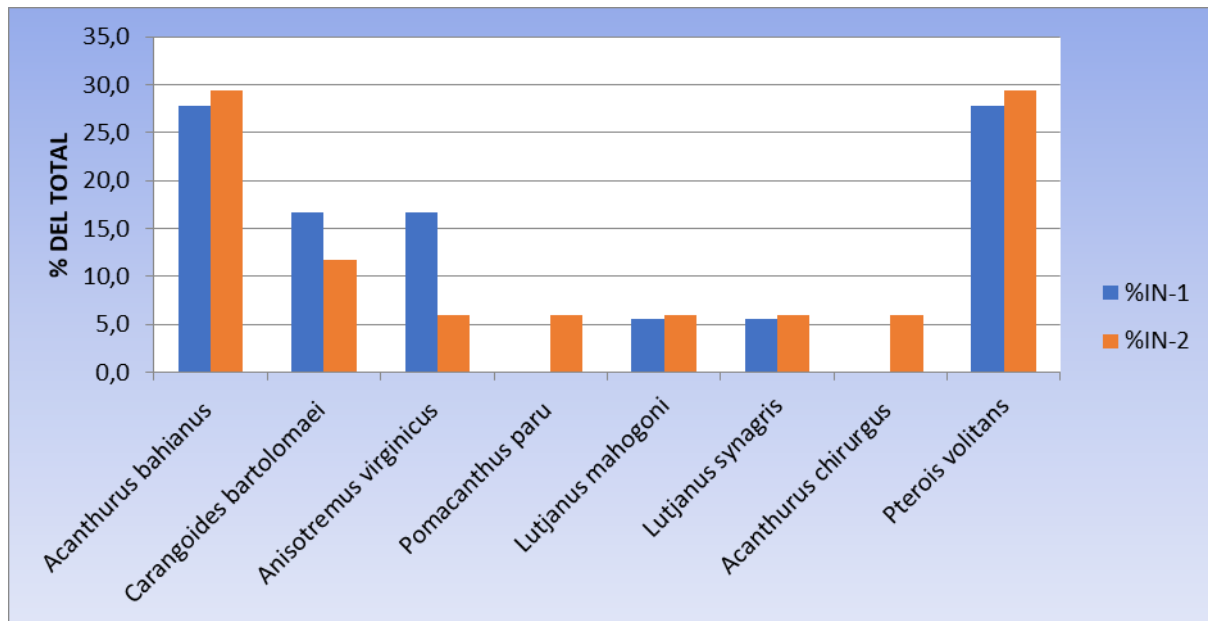


Gráfico 23. Representación porcentual (%) de cada especie del ictioplancton (larvas) en las muestras recolectadas en el intake.

Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo (18-17 ind/m³ para larvas y 40-45 ind/m³ para huevos), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m³ para huevos y de 30-50 ind/m³ para larvas en el Caribe.

Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Destacan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomaei*, de bajo valor pesquero y comercial en la zona y que representa porcentajes que llegan al 50%.

El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes muy bajos e inferiores al 10%. Son especies muy comunes en las zonas tropicales y el Caribe, con un bajo valor pesquero y económico, no siendo objeto de explotación pesquera por las comunidades locales.

En otros estudios similares, como el realizado por Cubillos (2015)⁴ en dónde se evaluó el impacto potencial de la mortalidad por succión de huevos de sardina común y anchoveta, debido a la operación del Penco- 3/h, con un promedio anual de 43,82 huevos/m³ y 9,08 larvas/m³ succionados. Al aplicar el modelo, y suponiendo el 100 % de biomasa perdida, la

4 Luis Cubillos, 2015. Estimación del impacto del arrastre de huevos y larvas de sardina común y anchoveta por succión sobre el rendimiento pesquero huevo-equivalente. Proyecto terminal GNL Penco-Lirquén.



magnitud promedio de la biomasa pérdida huevo-equivalente en un año fluctuó entre 22,2 y 29,95 toneladas de anchoveta, valores equivalentes en biomasa total por año de 266,46 y 359,38 toneladas de anchoveta.

En el presente estudio, se puede concluir que las cantidades removidas por efecto de la operación del proyecto, resultan ser insignificantes. En el caso de la toma en Punta Rincón, al ser menores las densidades de larvas y huevos captados por el intake, al mismo tiempo que el volumen de agua que se capta, el impacto sobre estos componentes de la biocenosis íctica también resulta ser insignificantes.

En el **Gráfico 24** se ha representado la evolución de la densidad de larvas (ind/m³) a lo largo de los últimos tres años. Como se puede comprobar, los valores de densidad han variado muy poco, manteniéndose las capturas por el intake dentro de un rango considerado como bajo.



Gráfico 24. Evolución temporal de la densidad de larvas medidas en el intake.



7. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES

Se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas marino-costeros a partir de la integración de diferentes índices de calidad.

Los indicadores empleados se recogen en el **Cuadro 23**.

CUADRO 23. INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS				
SUBCOMPONENTE DEL PROGRAMA	INDICADOR	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	FRECUENCIA DE INFORMES	PERIDO DE TOMA DE DATOS
Flora y Fauna	Densidad y riqueza de especies del bentos marino	Bianual	Bianual	Marzo y noviembre
	Índice de diversidad del bentos marino	Bianual	Bianual	Marzo y noviembre
	Densidad y riqueza de especies de peces	Bianual	Bianual	Marzo y noviembre
Criterios Físico y Químicos	pH, temperatura, conductividad específica, Oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, metales disueltos, nutrientes en agua y metales en sedimentos	Anual	Anual	Noviembre
	Índice mg de elemento / Kg de tejido en peces, donde el elemento de interés son los metales pesados	Anual	Anual	Noviembre



Dado que los resultados obtenidos para cada elemento y variable estudiada están ampliamente desarrollados en los distintos apartados del estudio, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y línea de base del año 2015⁵.

La simbología y significado empleado para valorar la tendencia de cada grupo de indicadores ambientales se recoge en el **Cuadro 24**.

CUADRO 24. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA INDICAR LA TENDENCIA DE LOS INDICADORES	
SIMBOLOGÍA	INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA
↑	El valor del indicador tiende a subir, las condiciones mejoran
→	Se mantiene el valor del indicador, las condiciones no varían
↓	El valor del indicador tiende a bajar, las condiciones empeoran

La comparación en la tendencia de los indicadores para los diferentes años de monitoreo se resume en el **Cuadro 25**.

Teniendo en cuenta el análisis realizado, se puede señalar que la tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base de los años 2015, 2016, 2017, 2018-1S, 2018-2S, 2019-1S, 2019-2S, 2020, 2021-1S, 2021-2S, 2022-1S, 2022-2S y 2023-1S en los dos semestres indican variaciones poco significativas entre los mismos.

Las pequeñas variaciones registradas entre los dos monitoreos están más relacionadas con el sesgo asociado a este tipo de muestreo (errores aleatorios y sistemáticos relacionados con las técnicas de muestreo, época de estudio y condiciones ambientales y oceanográficas) que con los posibles efectos derivados de la operación del puerto y de la mina.

En conclusión, las condiciones generales analizadas han variado de forma muy poco significativa, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de operación de la mina y el puerto.

⁵ La comparación entre los valores brutos obtenidos de cada indicador puede dar lugar a errores debidos a las variaciones en las metodologías empleadas y cambios en las condiciones de los muestreos.



CUADRO 25. EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 2015-2023

INDICADORES	AÑO DE MONITOREO	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-CE	HB-T1	HB-T2
INDICADOR 1 (Densidad y riqueza del bentos marino)	2015	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2016	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2017	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2018 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020-1	↑	↑	↑	↑	↑	↑	→	→
	2021-1	→	→	→	→	→	→	→	→
	2021-2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2022-1	↑	↑	↑	→	↑	↑	↑	↑
	2022-2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2023-1	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 2 (Indíces diversidad del bentos marino)	2015	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2016	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2017	→	→	→	→	→	→	(2)	(2)
	2018 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019 1 y 2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2020-1	↑	↑	↑	↑	↑	↑	→	→
	2021-1	→	→	→	→	→	→	→	→
	2021-2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2022-1	→	→	→	→	→	→	→	→
	2022-2	→	→	→	→	→	→	→	→
	2023-1	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 3 (Densidad y riqueza de peces)	2015	→	→	→	→	→	(1)	(2)	(2)
	2016	→	→	→	→	→	(1)	(2)	(2)
	2017	→	→	→	→	→	(1)	(2)	(2)



CUADRO 25. EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 2015-2023

INDICADORES	AÑO DE MONITOREO	HB-R3	HB-R33	HB-R12	HB-R15	HB-R18	HB-CE	HB-T1	HB-T2
	2018 1 y 2	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2019 1 y 2	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2020-1	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2021-1	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2021-2	→	→	→	→	→	(1)	→	→
INDICADOR 3 (Densidad y riqueza de peces)	2022-1	→	→	→	→	→	(1)	↓	→
	2022-2	→	→	→	→	→	(1)	→	→
	2023-1	→	→	→	→	→	(1)	→	→

NOTAS: (1). En este sitio de muestreo no se realizan estudios de peces. (2) En estos años no se realizaron monitoreos en HB-T1 y HB-T2.



8. ESTADO ECOLÓGICO

8.1. Justificación

El concepto de estado ecológico difiere sensiblemente del concepto de calidad del agua que se ha venido utilizando tradicionalmente, ya que mientras la calidad del agua expresa la mayor o menor potencialidad o aptitud del agua para dedicarla a un uso determinado (bebida, baño, riego, etc.), el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas asociados a las aguas marinas (DMA, 2000).

Para evaluar el estado ecológico de un agua marina se emplean los elementos físico-químicos y biológicos, que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han producido cambios en su estructura o funcionamiento como consecuencia de los mismos. A su vez, cada uno de estos elementos viene representado por uno o varios índices de calidad.

A diferencia de los análisis basados en cambios estructurales de las comunidades biológicas (número de especies, diversidad, etc) o de la concentración de determinados compuestos químicos, para evaluar posibles alteraciones en la calidad del agua, los índices de calidad se basan en el empleo de organismos o características del medio en el que habitan y, especialmente, en su sensibilidad a determinados efectos ambientales visibles macroscópicamente o microscópicamente. Proporcionan una información semi-cuantitativa sobre la contaminación de los ecosistemas acuático y permiten evaluar directamente el impacto ambiental de las actividades humanas.

8.2. Metodología

8.2.1. Valoración del estado de calidad biológico

Para evaluar la calidad biológica del medio marino, se ha seleccionado el grupo del bentos marino y, para este grupo, se ha utilizado el programa AMBI (versión 6.0) que calcula el BC o Índice Biótico Marino de Azti. Este índice, desarrollado en el año 2000 por el Centro Tecnológico [AZTI-Tecnalia](#), y que ya ha tenido varias actualizaciones, está basado en paradigmas ecológicos que permiten establecer la calidad ecológica de las costas y estuarios a través de la asignación de las especies de los fondos marinos a uno de los cinco grupos ecológicos.

Incorpora un análisis multi-variante (M-AMBI) para el cálculo del estado ecológico en el medio marino para el índice IB. Estas herramientas exploran la respuesta de las comunidades del bentos a los cambios naturales y humanos en la calidad del agua, integrando condiciones medioambientales a largo plazo. Además de calcular el BC e IB, este programa representa gráficamente los datos y exporta los resultados. AMBI incluye más de 6.500 taxa representativos de las comunidades más importantes presentes en los estuarios y sistemas costeros de Europa, desde el Mar del Norte al Mediterráneo, e incluso de Norteamérica, Centroamérica, Sudamérica y sudeste asiático.



Esta clasificación se basa en la sensibilidad del bentos marino a un gradiente creciente de estrés, dividiendo a los organismos en cinco grupos:

- Grupo I: Especies muy sensibles al enriquecimiento orgánico y que se encuentran presentes en condiciones de ausencia de contaminación. Incluyen especies carnívoras especialistas y algunos Poliquetos tubícolas detritívoros (estado ecológico inicial).
- Grupo II: Especies a las que no les afecta en gran medida el enriquecimiento orgánico, siempre están presentes en bajas densidades sin variaciones significativas en el tiempo (desde el estado inicial a levemente desequilibrado).
- Grupo III: Especies tolerantes al exceso de materia orgánica. Estas especies pueden aparecer en condiciones normales, pero sus poblaciones aumentan con el enriquecimiento orgánico (circunstancias ambientales levemente desequilibradas). En estos ambientes abundan las especies detritívoras y Poliquetos de la familia Spionidae.
- Grupo IV: Especies oportunistas de segundo orden que aparecen en ambientes con episodios de contaminación importantes. Principalmente son Poliquetos de pequeño tamaño y depositívoros subsuperficiales como los Cirratúlidos.
- Grupo V: En áreas con pronunciados desequilibrios, contaminación elevada, suelen encontrarse especies oportunistas de segundo orden. Organismos detritívoros, que proliferan en sedimentos reducidos.

La distribución de los individuos clasificados, de acuerdo a su tolerancia al grado de contaminación (grupos ecológicos), permite calcular el índice BI con ocho niveles, de 0 a 7. Para establecer los límites de estos ocho niveles, se utiliza un coeficiente biótico BC basado en los porcentajes de cada uno de los cinco grupos ecológicos definidos anteriormente, aplicando la siguiente fórmula:

$$BC = \frac{\{(0 \cdot \% GI) + (1.5 \cdot \% GII) + (3 \cdot \% GIII) + (4.5 \cdot \% GIV) + (6 \cdot \% GV)\}}{100}$$

Este coeficiente calcula un resultado continuo con valores comprendidos entre 0 y 6. Los intervalos establecidos según BORJA et al. (2000) para delimitar el valor continuo que resulta del cálculo del coeficiente biótico (BC) que constituye el índice AMBI se resumen en el **Cuadro 26** adjunto.



CUADRO 26. SIGNIFICADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y ECOLÓGICA BC Y BI (Borja et al, 2000)

GRADO DE CONTAMINACIÓN	COEFICIENTE BIÓTICO (BC)	ÍNDICE BIÓTICO (BI)	GRUPO ECOLÓGICO DOMINANTE	ESTADO DE LA COMUNIDAD BENTÓNICA
No contaminado	$0,0 < BC \leq 0,02$	0	I	Normal
No contaminado	$0,2 < BC \leq 1,2$	1		Empobrecida
Ligeramente contaminado	$1,2 < BC \leq 3,3$	2	III	Desequilibrada
Medianamente contaminado	$3,3 < BC \leq 4,5$	3		Estado de transición hacia contaminada
Medianamente contaminado	$4,5 < BC \leq 5,0$	4	IV-V	Contaminada
Fuertemente contaminado	$5,0 < BC \leq 5,5$	5		Estado de transición hacia muy contaminada
Fuertemente contaminado	$5,5 < BC \leq 6,0$	6	V	Muy contaminada
Extremadamente contaminado	Azoico	7	Azoico	Azoico

8.2.2. Valoración del estado de calidad físico-químico del agua y sedimento

Para valorar el estado de calidad de los parámetros físico-químicos en aguas y sedimento marinos se han comparado los resultados obtenidos en los diferentes parámetros de calidad de aguas con los límites legales que establece la normativa vigente en Panamá (Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008):

Cumple con los límites legales: ESTADO BUENO
No Cumple con los límites legales: ESTADO MALO

Con objeto de estudiar el grado de contaminación de los sedimentos (metales pesados) se ha empleado el protocolo del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME). Así, se ha valorado el estado de calidad por comparación con los valores de referencia anteriores, al no existir en Panamá límites para metales pesados en sedimentos en aguas marinas.

Cumple con los valores de referencia canadiense: ESTADO BUENO
No Cumple con los valores de referencia canadiense: ESTADO MALO

El estado de calidad MUY BUENO se alcanzaría solamente si los valores obtenidos para esas variables se encuentran por debajo de las concentraciones consideradas como fondo para aguas y sedimentos de zonas marinas similares.



8.2.3. Valoración del estado ecológico marino-costero

Una vez calculados los estados de calidad a partir de los elementos biológicos (bentos) y físico-químicos (agua y sedimento), para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los sitios de muestreo con todos los elementos en conjunto, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología original propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico y adaptada en una Guía recientemente en España por el MITECO (2021).

De acuerdo con esta metodología, las aguas marino-costeras se clasifican en cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores biológicos y físico-químicos: muy bueno, bueno, moderado-aceptable, deficiente y malo. Para la clasificación del estado ecológico se parte, en principio, de los indicadores biológicos, apoyándose después tanto en las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos (ver **Figura 1**). En este caso, no se aplican los indicadores hidromorfológicos.

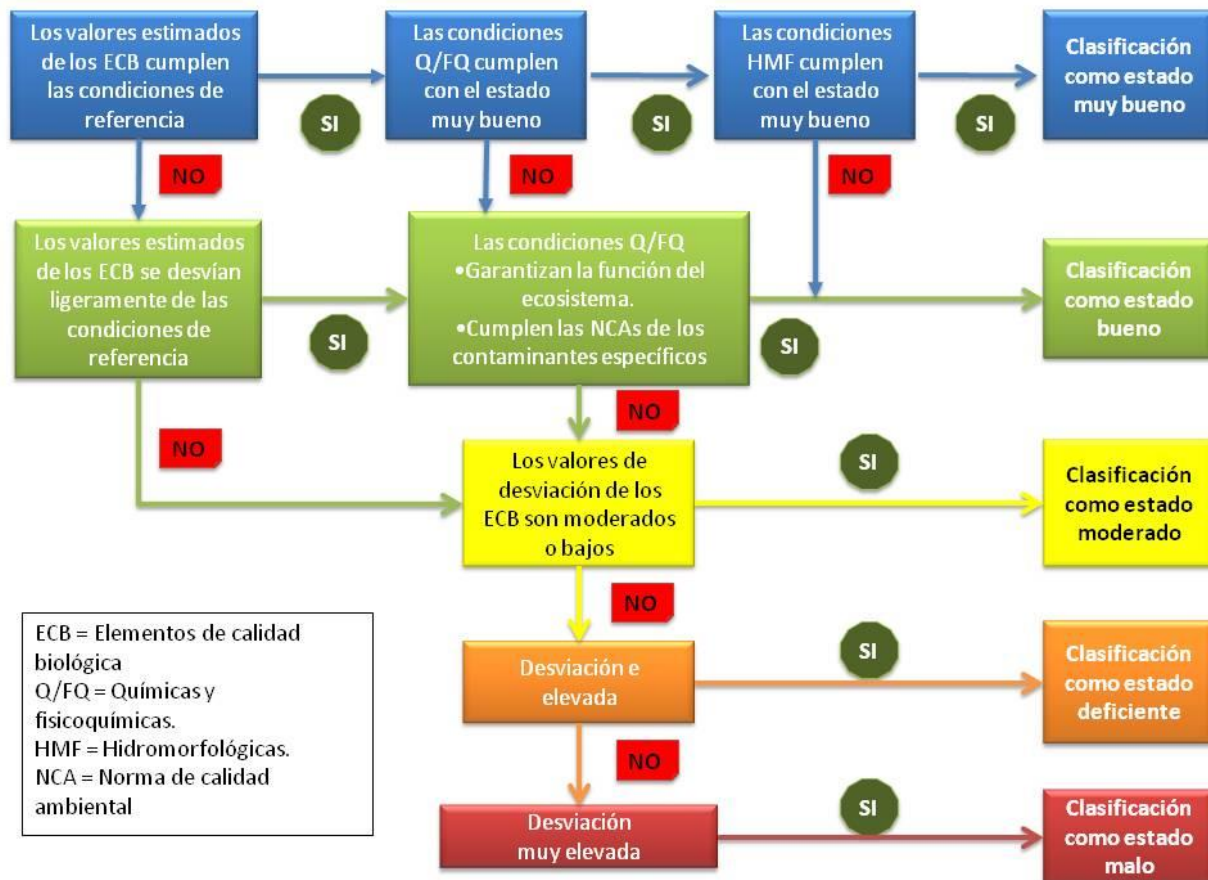


Figura 1. Metodología propuesta por el Grupo de Trabajo 2A de la Unión Europea en el Documento Guía número 13 sobre la clasificación del estado ecológico y adaptada por el MITECO (2021).



Para las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, se ha empleado como criterio el grado de cumplimiento de las normas de calidad que se han considerado⁶. Es decir, si se cumple el valor de referencia para el contaminante específico, la calidad es BUENA y garantizan la función del ecosistema, en caso contrario la calidad es MALA y no garantiza la funcionalidad del ecosistema.

En el apartado biológico, se completó el estado ecológico (EE) final con datos de bentos marino al ser los más representativos e integradores de los posibles efectos de la mina y el puerto. Sin embargo, cuando el estado ecológico se estima (mediante indicadores biológicos) como bueno o muy bueno, las condiciones físico-químicas entran en juego, pudiendo bajar la clasificación del estado ecológico a los niveles inferiores de bueno o moderado.

De forma individual para cada elemento de calidad, se ha seguido en la valoración el modelo más restrictivo. Es decir, se escoge de cada elemento como indicador o índice, de entre todos, aquel cuyo resultado ha sido la estima menos favorable en cada ocasión, según el principio “uno fuera, todos fuera”: Se ha denominado a este estado ecológico “restrictivo” como EE_{rest} , de tal manera que:

$$EE_{rest} = \text{Mínimo} (EE_{biol})$$

En resumen, para la clasificación del estado ecológico del medio marino-costero se han utilizado los siguientes elementos de calidad (QEs) y sus correspondientes índices de calidad:

- - QEs FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y SEDIMENTOS MARINOS
 - Calidad FQ. Físico-química del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez.
 - Calidad QA: Química del agua: sólidos en suspensión y metales pesados
 - Calidad QS. Química del sedimento: metales pesados.
 - QEs BIOLÓGICOS
 - Calidad BB. Composición y abundancia del bentos marino. Índices BI y AMBI.

8.3. Resultados. Valoración del estado ecológico marino-costero

8.3.1. Resultados del índice AMBI

Los resultados obtenidos por aplicación de los índices que calcula AMBI a los diferentes sitios de muestreo, considerando el bentos marino, se resumen en el **Cuadro 27**.

⁶ Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008. Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME). ”.



CUADRO 27. RESULTADOS DEL ÍNDICE AMBI Y ESTADO DE CALIDAD BIOLÓGICO

SITIO DE MUESTREO	ÍNDICE AMBI	INDICE BIOTICO (BI)	SIGNIFICADO	ESTADO DE CALIDAD BIOLÓGICO
HB-R3	0,6	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-R33	1,044	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-R12	0,763	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-R15	0,358	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-R18	0,858	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-T1	1,5	2	Ligeramente alterado	BUENO
HB-T2	0,391	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-CE	0,117	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-E10	0,516	1	No Alterado	MUY BUENO
HB-E4	1,038	1	No Alterado	MUY BUENO

Las comunidades del bentos estudiadas indican, a través de las especies sensibles que las forman, unas MUY BUENAS condiciones del medio marino, con valores de los índices que determina AMBI propios de sistemas no alterados. La estación HB-T1 se ha clasificado como ligeramente alterada por causas naturales y/o cambios estructurales asociados con la época del muestreo y estado de las poblaciones, pero con un estado de calidad de tipo BUENO.

Por consiguiente, las comunidades del bentos de fondos blandos carecen de efectos debidos a contaminación por aportes procedentes de la operación en la mina y puerto, con especies características de estados no contaminados o alterdos y que presentan una organización estructural evolutiva propia de los ecosistemas en los que se desarrollan.

8.3.2. Resultados del estado físico-químico del agua y sedimento

Los resultados obtenidos con el fin de valorar el estado físico-químico del agua y sedimentos en los diferentes sitios de muestreo se resumen en el **Cuadro 28**.



CUADRO 28. RESULTADOS DEL ESTADO DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA Y SEDIMENTOS

SITIO DE MUESTREO	GRADO DE CUMPLIMIENTO	GRADO DE CUMPLIMIENTO	ESTADO QUÍMICO SEDIMENTO	ESTADO FÍSICO-QUÍMICO AGUA
HB-R3	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-R33	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-R12	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-R15	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-R18	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-T1	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-T2	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-CE	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-E10	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA
HB-E4	CUMPLE	CUMPLE	BUENA	BUENA

Como se puede observar, los parámetros analizados cumplen con los límites legales establecidos en la legislación de referencia, con un estado de calidad valorado como BUENO.

8.3.3. Valoración final del estado ecológico del medio marino-costero

En el **Cuadro 29** se sintetizan los resultados de la valoración de los indicadores empleados y del estado ecológico final para cada sitio de muestreo. En resumen, todos los sitios se han clasificado con un ESTADO ECOLÓGICO MUY BUENO, excepto HB-T1 con BUENO.

CUADRO 29. VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS SITIOS DE MUESTREO

CODIGO SITIO MUESTREO	CALIDAD FQ	CALIDAD QA	CALIDAD QS	CALIDAD BB	ESTADO ECOLÓGICO FINAL
HB-R3	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-R33	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-R12	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-R15	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-R18	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-T1	BUENA	BUENA	BUENA	BUENO	BUENO
HB-T2	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-CE	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-E10	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO
HB-E4	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENO	MUY BUENO

NOTAS. CALIDAD F-Q: calidad físico-química del agua; CALIDAD QA: calidad química del agua; CALIDAD QS: calidad química del sedimento; CALIDAD BB: calidad biológica del bentos marino.



9. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en el monitoreo de los ecosistemas marino-costeros completado los días 24 al 28 de abril de 2023 en la zona de Punta Rincón en el Proyecto Mina de Cobre Panamá, se resumen en los siguientes puntos:

Agua de mar

- Las medidas de parámetros físico-químicos del agua marina, indican unas condiciones propias del mar Caribe para la época, con moderada a alta concentración de oxígeno disuelto y conductividades y pH propias de agua de mar. La turbidez del agua ha sido muy baja, destacándose que en ningún sitio de monitoreo se incumple el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008, lo que indica para estos parámetros ausencia de contaminación.
- Todos los metales pesados analizados en agua cumplen con los límites de calidad recogidos en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

Composición del sedimento

- La composición granulométrica del sedimento es relativamente homogénea entre los diferentes sitios. En los fondos blandos, predominan las arenas finas a medias (sobre el 80-90%), sin diferencias significativas entre las muestras.
- No se aprecia en el sedimento efectos asociados con la operación del puerto o de las actividades de la Mina, debido al escaso porcentaje de limos o arcillas presentes en los de los sitios someros (más próximos a la costa y potencialmente influenciados) y los más profundos.

Contaminación de los sedimentos

- Las concentraciones de COT registradas en sedimentos son muy bajas y del orden de 0,08-0,4 %. El cianuro total se mantiene próximo o por debajo del límite de detección (LD). Los Hidrocarburos Totales de Petróleo y MEH aparecen con concentración por debajo de los LD de los métodos analíticos empleados, lo que indica una concentración muy baja y no detectable y nula contaminación por estos compuestos.
- Los resultados de metales pesados muestran que las concentraciones de cadmio, cromo, plomo y zinc han sido muy bajas y por debajo del valor guía de la norma canadiense utilizada como referencia, con escasos o nulos efectos en la biota marina. Por su parte, con excepción de los sitios HB-R3, HB-R33, HB-R15 y HB-R18, el cobre ha superado el valor guía (18,7 mg/kg), sin llegar a alcanzar el valor de referencia más alto (108 mg/kg).



Metales pesados en peces

- Las concentraciones de metales pesados en tejidos del pez león han sido relativamente bajas en todos los sitios de muestreo. Teniendo en cuenta normas de referencia europeas, se cumple con el límite para plomo (0,2-0,4 mg/kg), cadmio (0,05-0,1 mg/kg) y mercurio (0,5-1,0 mg/kg), por lo que se concluye que no hay contaminación por estos metales. Para el resto de metales pesados no se cuenta con valores legales de referencia.

Comunidades de fondos duros

- Los porcentajes de cobertura y parámetros estructurales (diversidad, número de taxones, etc) de las diferentes comunidades biológicas (corales, esponjas, etc) de los hábitats de fondos duros, son semejantes a los registrados en años anteriores y sin cambios destacables con respecto al monitoreo considerado como línea base.
- Se concluye que no se ha observado cambios estructurales en la comunidad de fondos duros, manteniendo una biodiversidad propia de este tipo de fondos para las aguas costeras del Caribe.

Comunidades de fondos blandos

- Los sitios HB-R18 y HB-R15 presentaron las mayores densidades de comunidades de fondos blandos, con 2.370 ind/m² y 2.118 ind/m² respectivamente, seguido de las estaciones HB-R12 con 2.044 ind/m² y HB-R33 con 1.170 ind/m². La de menor abundancia fue la estación HB-E4 con 195 ind/m². Los moluscos dominan claramente la comunidad en todos los sitios de monitoreo, seguido de los anélidos poliquetos.
- Las comunidades del bentos de fondos blandos carecen de efectos debidos a contaminación por aportes procedentes de la operación en la mina y puerto, con especies características de estados no contaminados y que presentan una organización estructural evolutiva propia de los ecosistemas en los que se desarrollan.

Comunidades de peces

- En los fondos profundos, se han censado un total de 310 individuos/10³ m² entre HB-R3 y HB-R33 de los principales grupos de peces. La especie más abundante fue *Acanthurus bahianus* (12-13%), seguido de un amplio grupo de especies que aparecen de forma común en este tipo de fondos duros. Destacan las especies *Caranx latus* (6-12%), *Pterois volitans* (6-12%), *Lutjanus cyanopterus* (6-6%) y *Pomachancus paru* (6-6%). En este monitoreo se constató la presencia del tamboril (*Canthigaster rostrata*) con densidades estimadas de 3-6%.



- En los fondos someros se han registrado un total de 426 individuos/1000 m². El número de taxones registrados fue similar en los sitios HB-R12, HB-R15 y HB-R18 (25, 27 y 24). Las especies más abundantes en HB-R12-HB-R15-HB-R18 fueron *Pterois volitans* (15-10-5%) *Caranx crysos* (10-5-0%), *Acanthurus bahianus* (7-5-4%), *Carangoides bartholomaei* (3-5-4%) y *Kyphosus sectatrix* (3-5-4%), con claras diferencias con respecto a la zona profunda.
- Para HB-T2 se registró solo un individuo de *Bodianus rufus*, ya que estos fondos no reúnen características funcionales para sustentar poblaciones de peces, debido a la fuerte corriente y ausencia de refugios y nichos tróficos. En HB-T1 no se registró ningún pez.

Estudio específico del pez león

- La abundancia relativa de esta especie invasora fue de 5-15% para el fondo somero y de 10-20% para el fondo profundo, con una mayor presencia con respecto a otros años en los fondos duros asociados con rocas y presencia de corales y refugios.

Estudio específico de tamborín

- Durante este monitoreo se han registrado individuos de tamboril (5-10%) en todos los sitios de monitoreo, con presencia igualmente importante dentro del rompeolas, que pueden sospechar la aparición a corto y medio plazo de un bloom poblacional.

Estudio del rompeolas

- Se ha registrado una progresiva colonización por grupos biológicos de las rocas del rompeolas en su parte interna que parece se va afianzando con el tiempo, con la presencia de corales y primeras formas de esponjas.
- Se aprecia una clara diferencia entre los valores de abundancia (densidad) y los índices de diversidad de la comunidad de peces de la parte externa con respecto a la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transeptos no expuestos a mar abierto y situados en el interior del rompeolas.
- Los resultados obtenidos -al igual que los registrados en años anteriores-, indican que el rompeolas sirve como hábitat para las diferentes comunidades biológicas, contribuyendo a que aparezca en la zona del puerto una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas litorales.



Estudio de larvas y huevos de peces en el intake

- Los recuentos de huevos y de larvas de peces fue relativamente bajo (18-17 ind/m³ para larvas y 40-45 ind/m³ para huevos), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m³ para huevos y de 30-50 ind/m³ para larvas en el Caribe.
- Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Destacan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomae*, de bajo valor pesquero y comercial en la zona y que representa porcentajes que llegan al 50%.
- El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes muy bajos e inferiores al 10%. Son especies muy comunes en las zonas tropicales y el Caribe, con un bajo valor pesquero y económico, no siendo objeto de explotación pesquera por las comunidades locales.

Evolución de los indicadores ambientales

- La tendencia de los indicadores biológicos de los años en los que se han completado monitoreos indican variaciones poco significativas, sin cambios en los parámetros estructurales de la biocenosis.
- Se concluye que las condiciones generales analizadas han variado muy poco con respecto a la línea base, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas marino-costeros (bióticos) asociados con las actividades de operación de la mina y el puerto.

Evolución del indicador del estado ecológico

- Las comunidades del bentos estudiadas indican, a través de las especies sensibles que las forman, unas MUY BUENAS a BUENAS condiciones del medio marino,
- Los parámetros físico-químicos analizados en el agua, sedimento y biota cumplen con los límites legales en Panamá o los establecidos en la legislación de referencia, con un estado de calidad valorado como BUENO.
- Se concluye que los sitios presentan un estado ecológico del medio marino clasificado como MUY BUENO, excepto en el sitio HB-T1 como BUENO.

Eficacia de los mecanismos de control

- Teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas en los puntos anteriores, se destaca que los mecanismos de control establecidos están siendo efectivos para la protección del medio marino-costero en Punta Rincón.



10. BIBLIOGRAFÍA

PECES

ALLEN, G.R. 1985. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species known to date. FAO Fish Synopsis 6(125): 1-208.

ANAM. 2008. RESOLUCIÓN No. AG-0051-2008 “Por la cual se reglamenta a las especies de fauna y flora amenazadas y en peligro de extinción, y se dictan otras disposiciones”. Gaceta oficial No. 26013 del 7 de abril de 2008.

BOHLKE, J.E. & C.G. CHAPLIN. (2 ed.). 1993. Fishes of the Bahamas and Adjacent Tropical Watersn. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, University of Texas Press, USA, 771 pp.

BROCK RE. 1982. A critique of the visual *census* method for assessing coral reef fish populations. Bulletin of Marine Science 32(1): 269-276.

BUSSING, W.A. 1987. Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, 271 p.

BUSSING, W.A. 1998 (2 ed.) Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. vol. 46, supl. 2: 1-468.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002a. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 2: Bony Fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO pp 601-1374.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002b. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes part 2 (Opistognathidae to molidae), sea turtles and marine mammals. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO p 1375-2127.

HB-CERVIGON, F. 1966. Los Peces Marinos de Venezuela. Tomo I y II. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas. 1-951 pp.

HB-CERVIGON, F. & W. FISCHER. 1979. INFOPESCA: Catálogo de Especies Marinas de Interés Económico Actual o Potencial para América Latina. Parte I- Atlántico Centro y Suroccidental. FAO/UNDP, SIC/79/1, Roma, 372 pp.

HB-CERVIGON, F., R. CIPRIANI, W. FISCHER, L. GARIBALDI, M. HENDRICKX, A.J. LEMUS, R. MARQUEZ, J.M. POUTIERS, G. ROBAINA & B. RODRIGUEZ. 1992. Fichas FAO de identificación de las especies para los fines de la pesca. Guía de Campo de las Especies Comerciales Marinas y de Aguas Salobres de la Costa Septentrional de Sur América.



Preparado con el financiamiento de la Comisión de Comunidades Europeas y de NORAD. Roma, FAO, 1992. 513 pp.

CHRISTOPHER R.B., & OLDEN, J.D. 2011. Multi-scale habitat occupancy of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in coral reef environments of Roatan, Honduras. *Aquatic Invasions* 6 (3): 347–353.

COLLETTE, B.B. & C. E. NAUEN. 1983. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species know to date. FAO Dish Synopsis 2(125): 1-137.

FISCHER, W. (ed.). 1978. FAO Identification Sheets for Fishery Purposes: Western Central Atlantic (Fishing Area 31), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, vol. 1-7: pag. var.

FROESE, R. & D. PAULY. (ed.). 2013. FishBase, World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, versión (04/2013).

HEEMSTRA, P.C. & J.E. RANDALL. 1993. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. FAO Fisheries Synopsis 16(125): 1-382.

HUMANN, P. 1997. (3ra. ed.). Reef Fish Identification: Florida, Caribbean, Bahamas. Paramount Miller Graphics Inc., Florida, 396 pp. + app.

JÁCOME, G. 2001. La pesca y el deterioro de los arrecifes en el Caribe y Panamá. Pp. 200-206. En: S. Heckadon-Moreno (Editor). Panamá: Puente Biológico. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Panamá, 233 p.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1923. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (215): 1-330.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1925. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (226): 331-708.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1928. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (249): 709-1045.

PERRY, J.A. & S.D. PERRY. 1974. Los Peces Comunes de la Costa Atlántica de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Departamento de Biología, Serie Ciencias naturales No. 7, 225 p.

PLAN DE ACCIÓN DE BIODIVERSIDAD (PAB). Minera Panamá. S.A. Versión 2.0. Junio de 2011. 264 pp.

RANDALL, J.E. 1968. Caribbean Reef Fishes. T.F.H. Publications Inc., Neptune City, N.J., 318 pp.



SCHOFIELD, P. 2009. Geographic extent and chronology of the invasion of non-native lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus 1758] and *P. miles* [Bennett 1828]) in the Western North Atlantic and Caribbean Sea. *Aquat Invasions* 4:473–479.

FONDOS DUROS

Calder, D.R. and L. Kirkendale. 2005. Hydroids (Cnidaria, Hydrozoa) from shallow-water environments along the Caribbean coast of Panama. *Caribbean Journal of Science* 41: 476-491.

Collin, R., M. C. Díaz., J. Norenburg., R.M. Rocha, J.A. Sanchez., A. Schulze, M. Schwartz and A. Valdés. 2005. Photographic identification guide to some common marine invertebrates of Bocas del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*. Vol. 41(3): 367-638. Gingsbur R. 1999. <http://www.agrra.org/updates/metodo.html>.

Humann, P. and N. Delpachach. 2006. Reef Fish Identification – Florida, Caribbean, Bahamas. 3rd Edition. New World Publications, Inc. USA. 480 pp. STRI Bocas Data Base, 2012. (www.stri.org).

Veron, J.E.N. 2000. Corals of the world. Stafford-Smith, M. (ed). Australian Institute of Marine Science. Volumen I. 463 p.

Zea, Sven. 1998. Estado actual del conocimiento en Sistemática de Esponjas Marinas (Poríferas) del Caribe Colombiano. *Boletín Ecotrópica: Ecosistemas Tropicales* N° 33: 45-59.

BENTOS MARINO

Abbott, R. T. 1954. American Shells. D. Van Nostrand company, Inc. 541 pp.

Fauchald, K. 1984. Preface. En *Taxonomic Guide to the Polychaetes of the Northern Gulf of Mexico*. Eds. J. M. Uebelecker & P. G. Johnson. Mobile: Barry A. Vittor and Associates, págs. iv-v.

Ferrero-Vicente, L.M. et al., 2011. Soft-bottom sipunculans from San Pedro del Pinatar (Western Mediterranean): influence of anthropogenic impacts and sediment characteristics on their distribution. *Animal Biodiversity and Conservation*. 34, 101-111.

Garcés, H. 1994. El Bentos Marino. *Scientia Edición Especial*. 111-117.

Gray, J.S. 1981. The ecology of marine sediments. Cambridge University Press. London. 185 pp.

Keen, M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Stanford, California. 1000 pp.

Levinton, J. 1982. Marine Ecology. Printice Hall Inc. New York. U.S.A. 526 pp.

Liñeros, I. 1997. Poliquetos Bénticos de Venezuela. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná. Pp. 148.



Morales- N. A. G., D. E. Alston & A. Cabarcas. 2003. Preliminary effects of open-ocean cages on benthic maroinvertebrate populations. April 3, 2003. VIII Sigma Xi Poster Day.

Rodríguez, G. 1980. Los Crustáceos del Caribe Venezolano. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas. 494 pp.

SALAZAR-VALLEJO, S.I., J.A. DE LEÓN-GONZÁLEZ Y H. SALAIHB-CES-POLANCO. 1989 (1988). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México. Libros, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, 212 p.

Villalaz, J., C., A. Vega., J. Ávila & J. A. Gomes. 2002. Análisis Temporal de Macroinvertebrados Bentónicos en Playa el Agallito, Chitré. Tecnociencia. Vol.4. 2:111-126.

Warwick, R. & M. Ruswahyuni. 1987. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: Further evaluation of the species abundance- biomass method. Mar. Biol., 95: 193-200.

BIBLIOGRAFIA SOBRE MORTANDAD DEL TAMBORÍN NARIZÓN

Arrieta, A. U. (2013). Estructura de la comunidad de peces de la zona arrecifal de Puerto Viejo-Punta Mona, Limón, Costa Rica. Unpublished master's thesis, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica.

Barrantes, N. (2010). Programa interpretativo del ecosistema marino de la Isla Quiribrí (Uvita), Limón. Unpublished licentiate's thesis, Universidad de Costa Rica, Montes de Oca, Costa Rica.

Berlinsky, D. L., Taylor, J. C., Howell, R., Bradley, T. M. & Smith, T. I. (2004). The effects of temperature and salinity on early life stages of black sea bass *Centropristis striata*. J. World Aquacult. Soc., 35(3), 335-344. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2004.tb00097.x>

Castillo, A. & Pérez, E. (2014). Aparecen muertos miles de peces Uas Moldugwas, de la especie, *Canthigaster rostrata*, en los Archipiélagos del Caribe Panameño. Gubiler. Retrieved on September 14, 2017 from <http://gubiler.blogspot.com/2014/11/aparecen-muertos-miles-de-peces-uas.html>

Cortés, J., Fonseca, A. C., Nivia-Ruiz, J., Nielsen-Muñoz, V., Samper-Villarreal, J., Salas, E., Martínez, S. & Zamora-Trejos, P. (2010). Monitoring coral reefs, seagrasses and mangroves in Costa Rica (CARICOMP). Rev. Biol. Trop., 58(3), 1-22.

Debrot, A. O. & Nagelkerken, I. (1997). A rare mass recruitment of the balloonfish (*Diodon holocanthus* L.) in the Leeward Dutch Antilles, 1994. Caribb. J. Sci., 33(3-4), 284-286.

Gutiérrez, T. (2014). Pescadores reportan miles de peces muertos en las playas del Caribe Sur. CRhoy. Retrieved on January 29, 2018 from <http://www.crhoy.com/archivo/pescadores-reportan-miles-de-peces-muertos-en-las-playas-del-caribe-sur-v3l7l8x/>

Holt, R. E. & Jørgensen, C. (2015). Climate change in fish: effects of respiratory constraints on optimal life history and behavior. Biol. Lett., 11, 1-5. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.1032>



El Isleño. (2017). Investigan muerte masiva de peces en San Andrés. Retrieved on September 14, 2017 from http://www.elisleño.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13259:investigan-muerte-masiva-de-peces-en-varios-sectores-de-la-isla&catid=41:ambiental&Itemid=83.

Jordán-Garza, A. G., Díaz-Almeyda, E. M., Iglesias-Prieto, R., Maldonado, M. A. & Ortega, J. (2009). Mass mortality of *Canthigaster rostrata* at the northeastcoast of the Yucatan Peninsula. Coral Reefs, 28, 661. <https://doi.org/10.1007/s00338-009-0492-x>.

Kirtisinghe, P. (1934). Parasitic infection of porcupine fish. Nature, 133, 142. <https://doi.org/10.1038/133142a0>

Ochoa, J. L., Sánchez-Paz, A., Cruz-Villacorta, A., Núñez-Vázquez, E. & Sierra-Beltrán, A. (1997). Toxic events in the northwest Pacific coastline of Mexico during 1992-1995: origin and impact. Hydrobiologia, 352(1-2), 195-200. <https://doi.org/10.1023/A:1003015103760>

Piedra-Castro, L. (2017). Estrategia de manejo de recursos ecosistémicos marino-costeros en el Caribe Sur de Costa Rica, orientadas orientada a la adaptación a la variabilidad climática de las comunidades costeras. Unpublished doctoral dissertation, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Schaper, S. (1996). La comunidad de peces en el arrecife de Puerto Viejo (Limón, Costa Rica). Rev. Biol. Trop., 44(2), 923-925.

Shi, Y. H., Zhang, G. Y., Zhu, Y. Z., Liu, J. Z. & Zang, W. L. (2010). Effects of temperature on fertilized eggs and larvae oftawny puffer Takifugu flavidus. Aquacult. Res., 41(12), 1741-1747. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02460.x>

Sikkel, P. C. (1990). Social organization and spawning in the Atlantic sharpnose puffer, *Canthigaster rostrata* (Tetraodontidae). Environ. Biol. Fish., 27(4), 243-254. <https://doi.org/10.1007/BF00002743>.

Stier, A., Idjadi, J., Geange, S. & Jada-Simone, W. (2013). High mortality in a surgeonfish following an exceptional settlement event. Pac. Sci., 67(4), 533-538. <https://doi.org/10.2984/67.4.4>.

Trujillo, O. (2009). Dinámico de reclutamiento de peces de arrecife rocoso del suroeste del Golfo de California. Unpublished doctoral dissertation. Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Mexico.

Universidad de Costa Rica. (2016). Módulo de Información Oceanográfica. Retrieved on January 29, 2018 from <http://miocimar.ucr.ac.cr/content/temperatura-superficial-del-mar-24>.

Vali, A. L. & Sinclair-Taylor, T. (2011). Mass schooling and mortality of *Canthigaster bennetti* in Sulawesi. Coral Reefs, 30(1), 251-251. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0706-2>.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

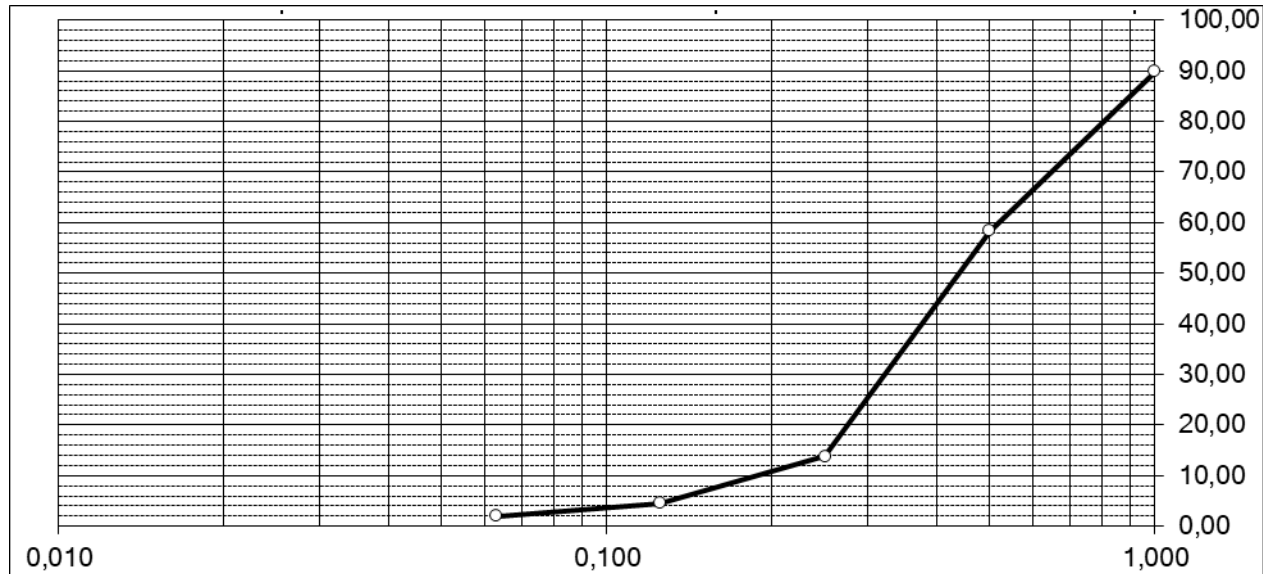
DMA, Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.



GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS. MITECO (España). 2021.



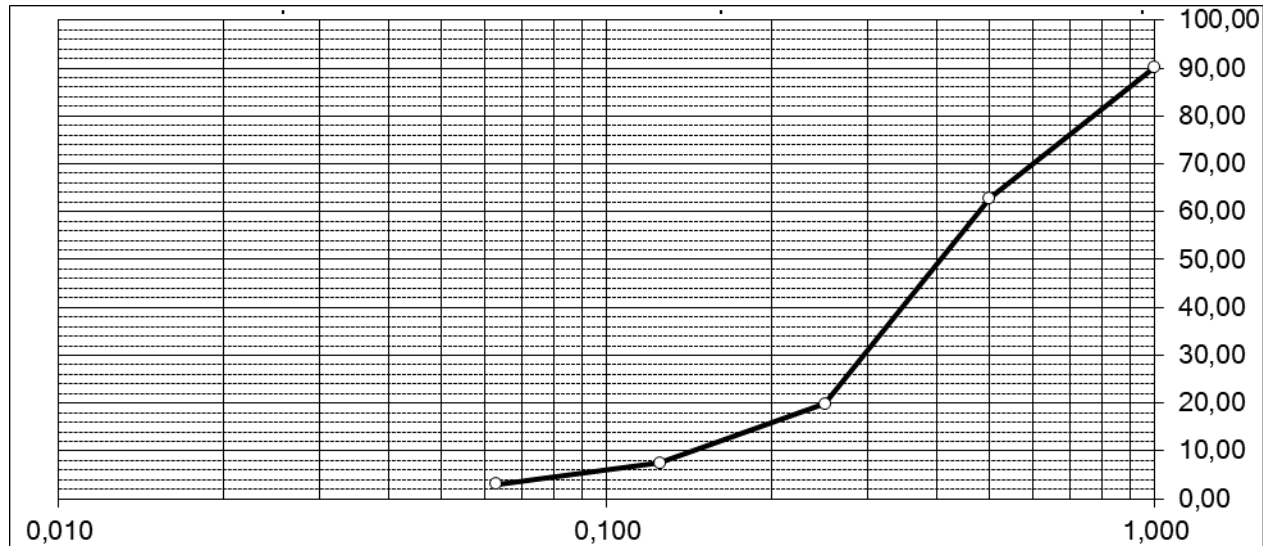
ANEXO 1
CURVAS GRANULOMÉTRICAS DEL SEDIMENTO



Project name	Minera Panama
Project No.	abil-2023
Sample ID	R-12
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					99,7	
	1,000	0,9500	11,1000	10,1500	89,5	89,82
	0,500	0,9700	29,2000	31,4000	58,1	58,32
	0,250	0,9500	45,3000	44,3500	13,8	13,82
	0,125	0,9600	10,2000	9,2400	4,5	4,55
	0,063	0,9600	3,5000	2,5400	2,0	2,01
	Pan	.95	1,2000	2,0000		
	Total < 63μ			2,0000		
	Total			99,68		

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm

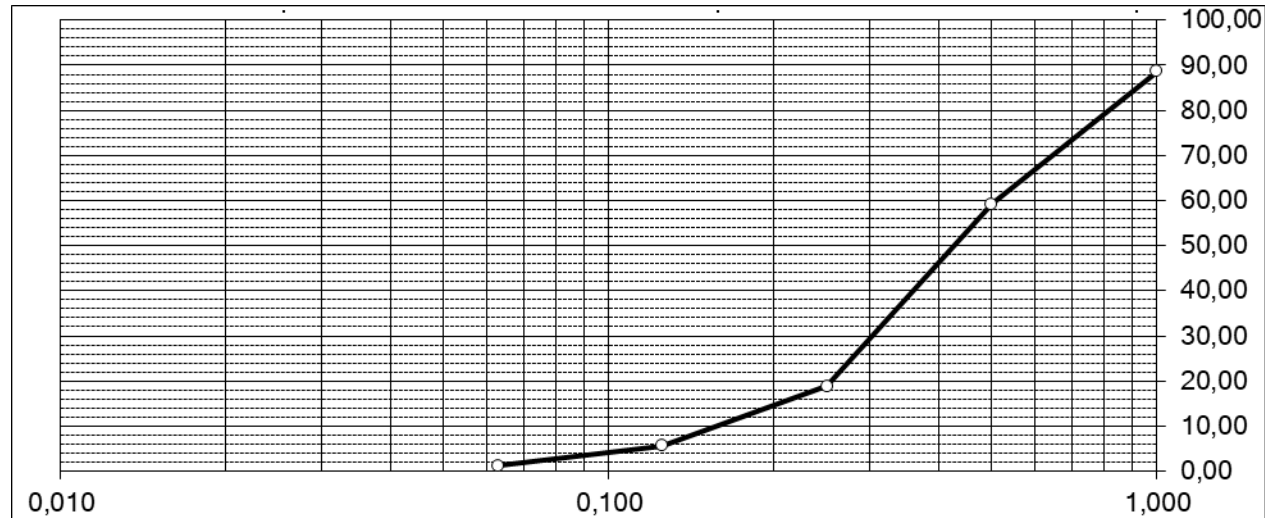


Project name	Minera Panama
Project No.	abil-2023
Sample ID	R-15
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm

Loss (%)	-59,97
----------	--------

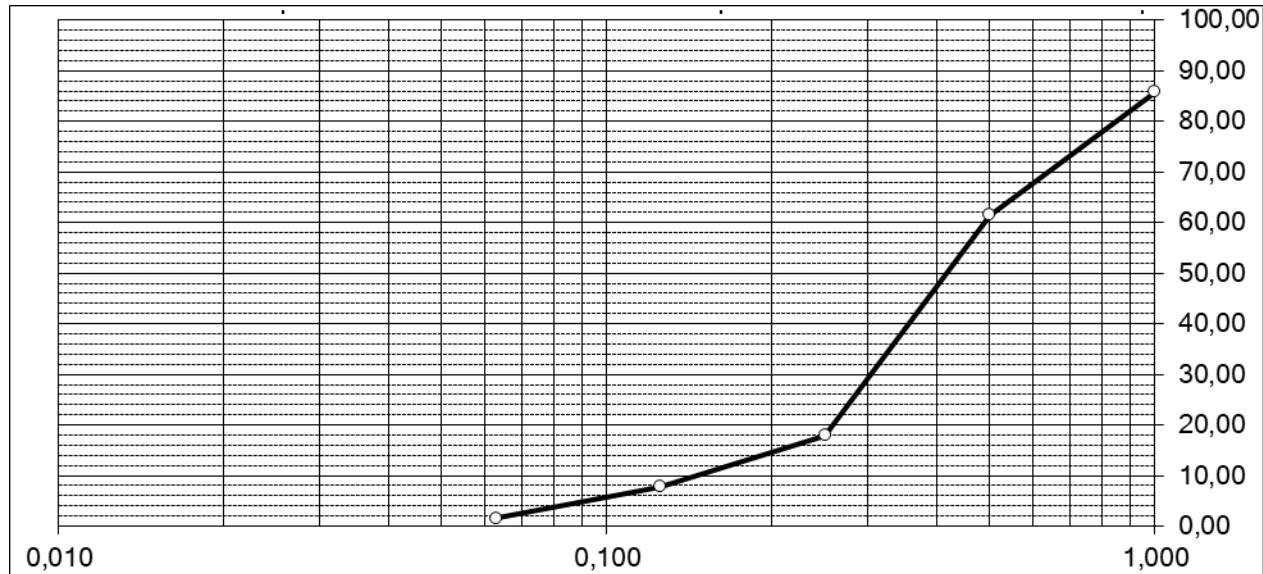
Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					100,2	
	1,000	0,9400	10,8000	9,8600	90,3	90,16
	0,500	0,9700	28,3000	27,3300	63,0	62,88
	0,250	0,9500	44,1000	43,1500	19,8	19,80
	0,125	0,9300	13,2000	12,2700	7,6	7,56
	0,063	0,9600	5,4000	4,4400	3,1	3,12
	Pan	0,9700	4,1000	3,1300		
	Total < 63μ			3,1300		
	Total			100,18		



Project name	Minera Panama
Project No.	abil-2023
Sample ID	R-18
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm
Loss (%)	-58,39

Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					99,7	
	1,000	0,9700	12,3000	11,3300	88,3	88,63
	0,500	0,9500	30,3000	29,3500	59,0	59,18
	0,250	0,9400	41,2000	40,2600	18,7	18,78
	0,125	0,9600	14,1000	13,1400	5,6	5,60
	0,063	0,9700	5,3000	4,3300	1,2	1,25
	Pan	0,9500	2,2000	1,2500		
	Total < 63μ			1,2500		
	Total			99,66		

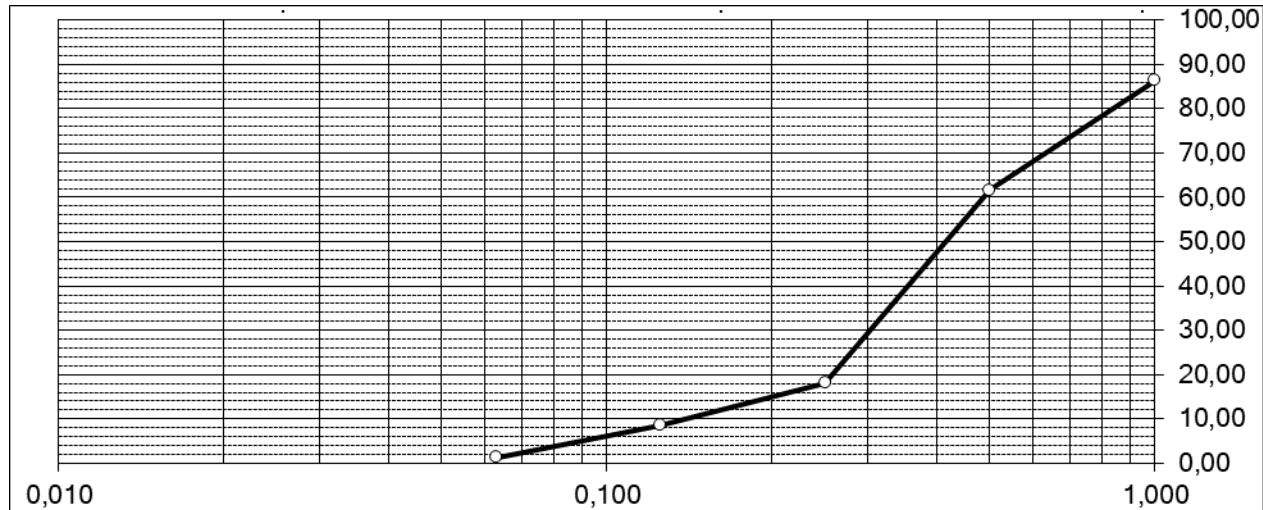


Project name	Minera Panama
Project No.	abil-2023
Sample ID	R-3
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm
Loss (%)	-61,07

Remarks

Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					100,3	
	1,000	0,9400	15,1000	14,1600	86,1	85,88
	0,500	0,9600	25,4000	24,4400	61,7	61,50
	0,250	0,9700	44,6000	43,6300	18,0	17,98
	0,125	0,9600	11,2000	10,2400	7,8	7,77
	0,063	0,9500	7,1000	6,1500	1,6	1,64
	Pan	0,9600	2,6000	1,6400		
	Total < 63μ			1,6400		
	Total			100,26		

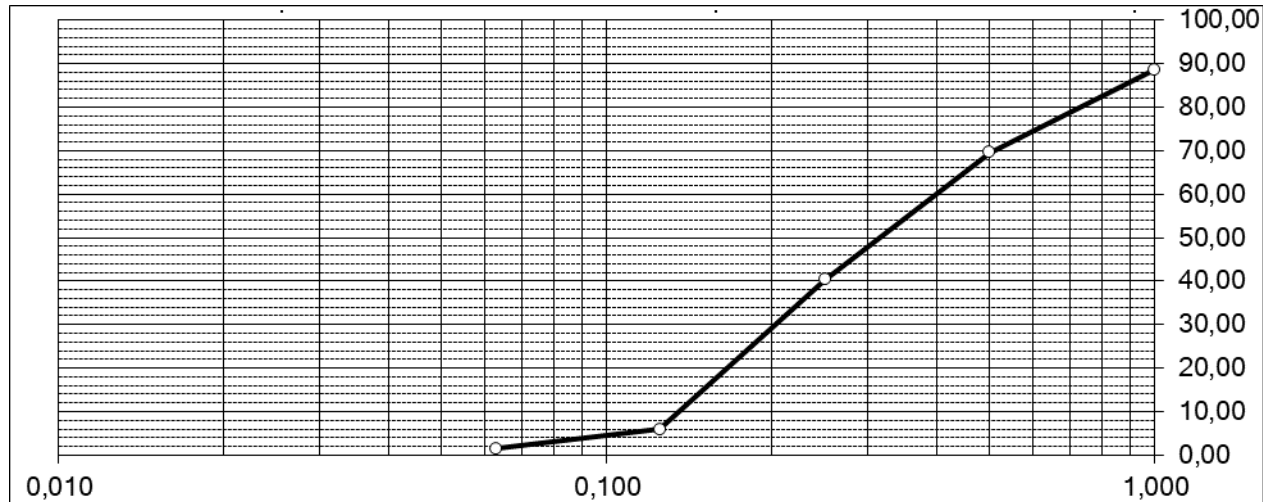


Project name	MINERA PANAMA
Project No.	abil-2023
Sample ID	R-33
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm
Loss (%)	-60,47

Remarks

Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					100,4	
	1,000	0,9400	14,6000	13,6600	86,7	86,39
	0,500	0,9600	25,8000	24,8400	61,9	61,64
	0,250	0,9700	44,6000	43,6300	18,2	18,17
	0,125	0,9500	10,6000	9,6500	8,6	8,56
	0,063	0,9400	8,2000	7,2600	1,3	1,33
	Pan	0,9700	2,3000	1,3300		
	Total < 63μ			1,3300		
	Total			100,37		

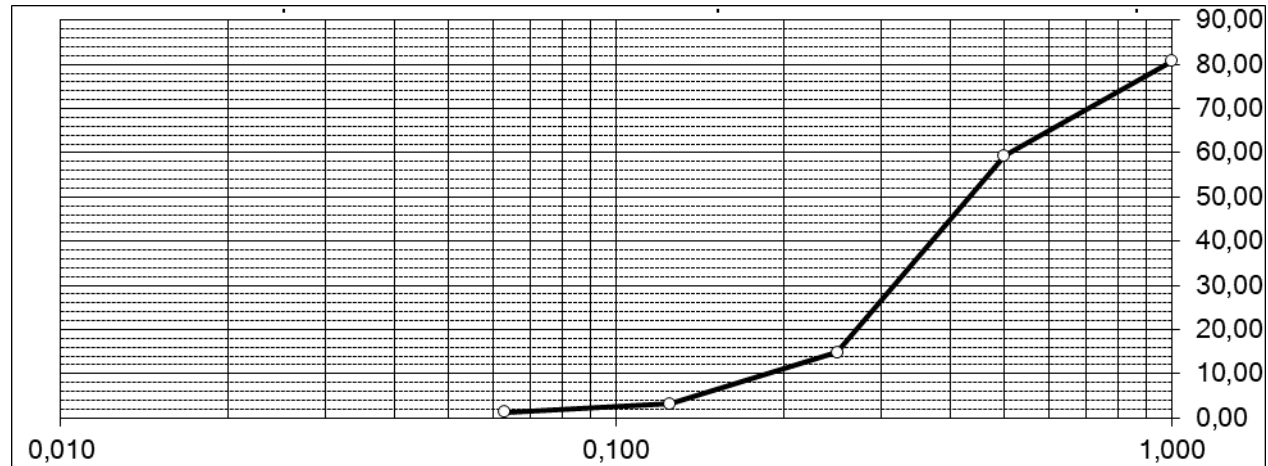


Project name	Minera Panama
Project No.	abil-2023
Sample ID	Caimito
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm
Loss (%)	-63,55

Remarks

Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					100,2	
	1,000	0,9400	12,3000	11,3600	88,8	88,66
	0,500	0,9500	20,1000	19,1500	69,7	69,54
	0,250	0,9400	30,2000	29,2600	40,4	40,34
	0,125	0,9600	35,4000	34,4400	6,0	5,96
	0,063	0,9700	5,5000	4,5300	1,4	1,44
	Pan	0,9600	2,4000	1,4400		
	Total < 63μ			1,4400		
	Total			100,18		

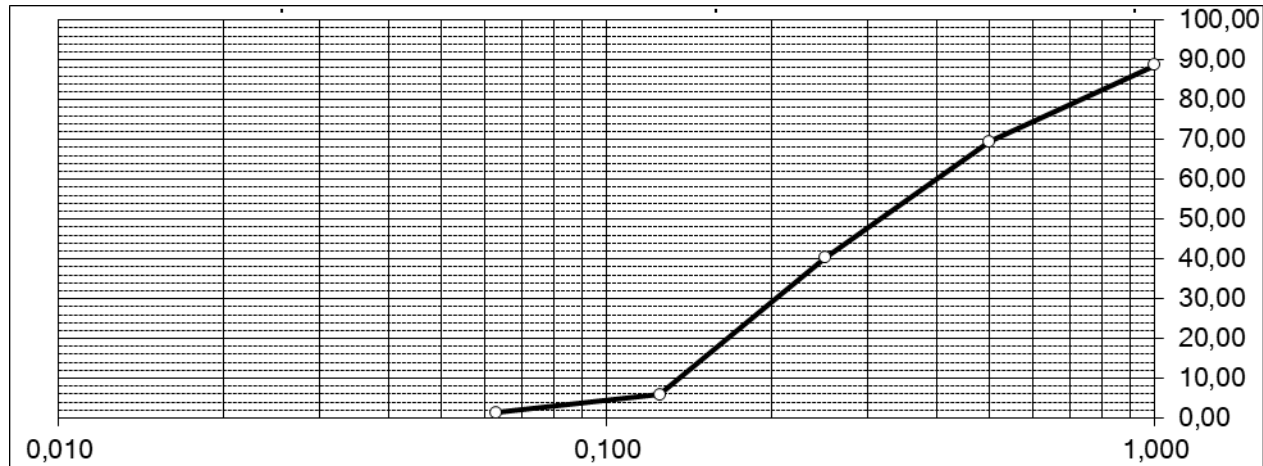


Project name	Minera Panama
Project No.	abil-2023
Sample ID	T1
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm
Loss (%)	-63,55

Remarks	
---------	--

Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					100,4	
	1,000	0,9500	20,3000	19,3500	81,0	80,72
	0,500	0,9700	22,5000	21,5300	59,5	59,27
	0,250	0,9600	45,6000	44,6400	14,8	14,79
	0,125	0,9600	12,6000	11,6400	3,2	3,19
	0,063	0,9500	2,9000	1,9500	1,3	1,25
	Pan	0,9500	2,2000	1,2500		
	Total < 63μ			1,2500		
	Total			100,36		

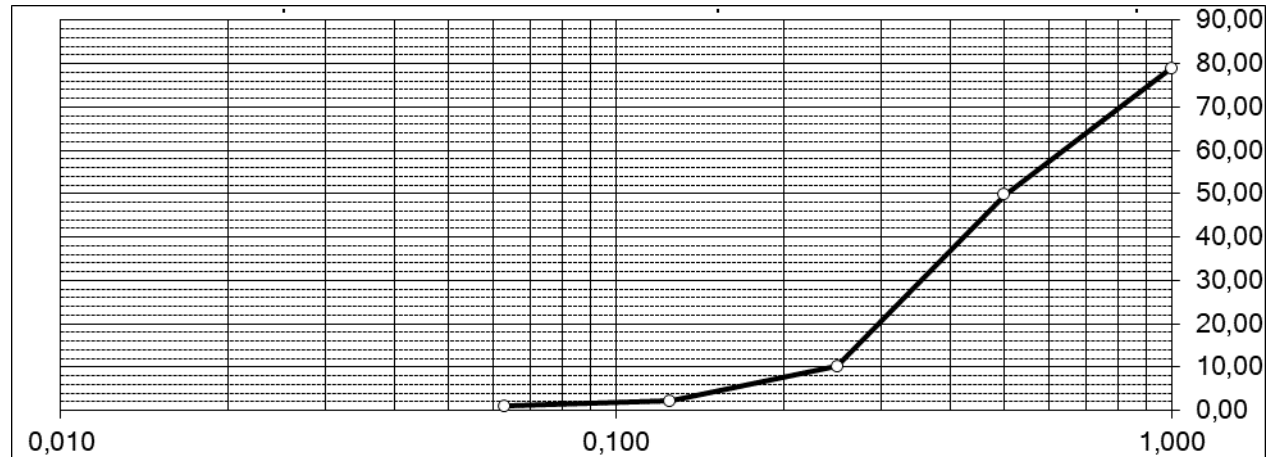


Project name	Minera Panama
Project No.	abil-2023
Sample ID	T2
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm
Loss (%)	-63,55

Remarks	
---------	--

Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					100,0	
	1,000	0,9500	25,3000	24,3500	75,6	75,65
	0,500	0,9400	22,1000	21,1600	54,5	54,49
	0,250	0,9600	45,2000	44,2400	10,2	10,24
	0,125	0,9500	8,8000	7,8500	2,4	2,39
	0,063	0,9500	3,1000	2,1500	0,2	0,24
	Pan	0,9600	1,2000	0,2400		
	Total < 63μ			0,2400		
	Total			99,99		

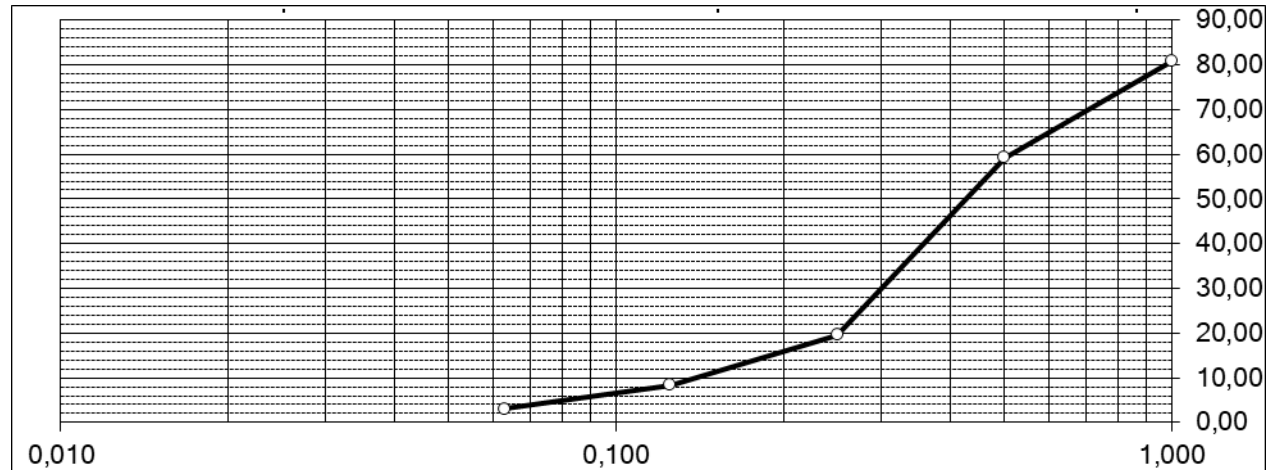


Project name	Minera Panama
Project No.	abil-2023
Sample ID	E4
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm
Loss (%)	-63,55

Remarks	
---------	--

Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					100,2	
	1,000	0,9500	22,1000	21,1500	79,0	78,89
	0,500	0,9600	30,2000	29,2400	49,8	49,70
	0,250	0,9500	40,5000	39,5500	10,2	10,21
	0,125	0,9600	9,1000	8,1400	2,1	2,09
	0,063	0,9500	2,1000	1,1500	0,9	0,94
	Pan	0,9600	1,9000	0,9400		
	Total < 63μ			0,9400		
	Total			100,17		



Project name	Minera Panama
Project No.	abil-2023
Sample ID	E10
Lab. Date	22/05/2023
Technician	CV
Wet sieved	No

Sieve diameter	100 mm
Sieve time	20 min.
Amplitude	0.5 mm
Loss (%)	-63,55

Remarks

Org. matter + silt (g)	Mesh size (mm)	Tray, empty (g)	Tray + sample (g)	Sample (g)	Passing sieve (g)	Passing sieve (%)
0,0000					100,5	
	1,000	0,9900	20,3000	19,3400	81,1	80,75
	0,500	0,9900	22,5000	21,5400	59,6	59,31
	0,250	0,9900	40,8000	39,8500	19,7	19,64
	0,125	0,9900	12,3000	11,3400	8,4	8,35
	0,063	0,9900	6,2000	5,2500	3,1	3,13
	Pan	0,9900	4,1000	3,1400		
	Total < 63μ			3,1400		
	Total			100,46		